



THESE

Pour l'obtention du grade de
DOCTEUR DE MONTPELLIER SUPAGRO

Discipline : Agronomie

Formation doctorale : Fonctionnement des Ecosystèmes Naturels et Cultivés

**Ecole doctorale : Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences,
Hydrosciences et Environnement**

**Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes
sur le long terme :
Application aux systèmes de culture à base de cacaoyer au
Centre Cameroun**

***Présentée et soutenue publiquement
par***

Patrick JAGORET

17 juin 2011

Directeur de thèse : Eric MALEZIEUX

Co-encadrante : Isabelle MICHEL-DOUNIAS

Jury :

Thierry Doré
Emmanuel Torquebiau
Bidzanga Nomo
François Papy
Jacques Wéry
Eric Malézieux

Professeur AgroParisTech
Directeur de Recherche Cirad
Maitre de Recherche Irad
Directeur de Recherche Inra
Professeur Supagro Montpellier
Directeur de Recherche Cirad

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Directeur de thèse





THESE

Pour l'obtention du grade de
DOCTEUR DE MONTPELLIER SUPAGRO

Discipline : Agronomie

Formation doctorale : Fonctionnement des Ecosystèmes Naturels et Cultivés

**Ecole doctorale : Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences,
Hydrosciences et Environnement**

**Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes
sur le long terme :
Application aux systèmes de culture à base de cacaoyer au
Centre Cameroun**

***Présentée et soutenue publiquement
par***

Patrick JAGORET

17 juin 2011

Directeur de thèse : Eric MALEZIEUX

Co-encadrante : Isabelle MICHEL-DOUNIAS

Jury :

Thierry Doré
Emmanuel Torquebiau
Bidzanga Nomo
François Papy
Jacques Wéry
Eric Malézieux

Professeur AgroParisTech
Directeur de Recherche Cirad
Maitre de Recherche Irad
Directeur de Recherche Inra
Professeur Supagro Montpellier
Directeur de Recherche Cirad

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Directeur de thèse



A Isabelle

Magali, Florian et Aurélien

*Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas,
c'est parce que nous n'osons pas qu'elles sont difficiles.*

Sénèque

Avant-propos

Ce travail a été réalisé dans le cadre du partenariat entre le Cirad, Département Persyst, Unité de recherche « *Performance des systèmes de culture des plantes pérennes* » et l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (Irada), Programme « *Plantes Stimulantes* » au sein du Pôle de Compétence en Partenariat Grand-Sud Cameroun.

Ce travail a bénéficié de plusieurs financements issus notamment des projets « *Mise au point de systèmes de cacaoculture compétitifs et durables en Afrique* » et « *Renforcement des partenariats dans la recherche agronomique au Cameroun* » financés par le Ministère des Affaires étrangères français.

Différents travaux, publications et communications, sont directement issus de ce travail.

Articles scientifiques

Jagoret P., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2011. Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon. *Agroforestry Systems* 81 : 267-278.

Jagoret P., Michel-Dounias I., Snoeck D., Todem Ngnogue H., Malézieux E. Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farm innovation in central Cameroon. *Agronomy for Sustainable Development*. (soumis)

Jagoret P., Kwasie J., Messie C., Michel-Dounias I., Malézieux E. Farmers' assessment of the use of agrobiodiversity in plurispecific systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon. *Biodiversity and Conservation*. (soumis)

Jagoret P., Michel-Dounias I., Blanchard M., Lachenaud P., Todem Ngnogue H., Malézieux E. Agronomic regional diagnosis of complex agroforestry systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon. *Agronomy for Sustainable Development*. (à soumettre)

Posters

Jagoret P., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2010. The sustainability of cocoa plantations is not a myth. An example from central Cameroon. Agro 2010. The Scientific International Week around Agronomy. Montpellier, August 29 to September 3, 2010.

Jagoret P., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2010. Transforming savannah into cocoa agroforests: analysis of a local innovation by farmers in central Cameroon. Agro 2010. The Scientific International Week around Agronomy. Montpellier, August 29 to September 3, 2010.

Remerciements

Sans l'intervention de nombreuses personnes, que ce soit à travers leur appui scientifique ou leur soutien moral, je n'aurai pas pu mener cette thèse à son terme.

Je tiens à remercier avant tout Isabelle Michel-Dounias et Eric Malézieux qui ont accepté d'encadrer ce travail et qui m'ont fait confiance. Leur appui constant, leur disponibilité, leur rigueur et leurs encouragements m'ont permis de ne jamais douter. Leurs missions respectives sur le terrain ont constitué des étapes décisives dans le bon déroulement de cette thèse. Leurs compétences m'ont permis de progresser et je leur suis particulièrement reconnaissant de m'avoir accompagné ainsi au cours des quatre années qui viennent de s'écouler.

Ce travail n'aurait pas pu se faire également sans l'appui et les encouragements constants de Jean-Luc Battini et Eric Gohet, successivement en charge de l'Unité de recherche « *Performance des systèmes de culture des plantes pérennes* » et qui, dès le départ et ensuite, n'ont jamais ménagé leurs efforts pour faire de ce travail une priorité afin qu'il aboutisse. Je les en remercie vivement.

Je ne me serai probablement pas lancé dans cette aventure sans les relations humaines exceptionnelles dont je bénéficie depuis mon affectation à la station Irad de Nkolbisson, qu'il s'agisse des chercheurs, des techniciens ou des chauffeurs. Je pense tout particulièrement à Salomon Nyassé, Luc Dibog et Lucien Bidzanga Nomo pour la chaleur de leur accueil, l'enthousiasme dont ils ont toujours fait preuve à l'égard de mes travaux, le partage et la qualité de leur expertise.

Ce projet n'aurait pas pu aboutir dans l'accueil, la disponibilité et l'implication des agriculteurs de Bakoa (Bokito), Ezezang et Lékié-Assi (Zima), Abod-Mveng et Tiga (Ngomedzap), qui ont mis à notre disposition leurs cacaoyères et se sont prêtés avec bonne grâce aux multiples entretiens et enquêtes auxquels je les ai soumis. Leur générosité et leur patience ont largement contribué à faire de ce travail un enrichissement tant professionnel que personnel. Qu'ils en soient tous vivement remerciés, en particulier Cosmas Essomba (Ngomedzap), Athanase Onana (Zima) et Jean-Paul Bidias (Bokito) qui ne pouvaient se douter au début de l'ampleur de ce travail et qui ont toujours fait preuve d'enthousiasme, de générosité et d'esprit critique.

Un merci particulier à Emmanuel Bouambi qui est pour beaucoup dans la qualité des données collectées et qui n'a cessé de faire preuve, toutes ces années, d'un dévouement exceptionnel. Je remercie également Menimo Tonka et Morgane Blanchard, Hervé Todem Ngnogue, Charly Messie et Jacques Kwesseu, étudiants dont j'ai encadré les stages. Leur sérieux et leur enthousiasme communicatif ont fait de ces stages des moments privilégiés.

Ce travail est également le fruit de longs échanges avec les chercheurs impliqués dans le comité de pilotage. Je pense en particulier à Philippe Lachenaud et Christine Aubry dont les conseils avisés et l'expertise ont constitué un soutien précieux. Il a aussi bénéficié de l'expérience de Didier Snoeck et Nathalie Lamanda qui m'ont apporté, chacun dans sa spécialité et avec beaucoup de générosité, les réponses à de nombreuses questions.

Je ne peux oublier les collègues du Cirad, à Montpellier comme à Nkolbisson qui m'ont apporté leur soutien et leur contribution. Je citerai notamment Cécile Fovet-Rabot, pour sa relecture avisée de nos articles, Catherine Patard pour sa contribution à la base bibliographique de ce travail, Martine Duportal pour la mise en forme de nombreuses figures, mais également Régis Babin, Sylvie Lewicky-Dhainault, Olivier Sounigo, Martijn Ten Hoopen et Raymond Bourgoing.

Au cours de la rédaction de cette thèse qui m'a amené à séjourner plusieurs mois à Montpellier, l'aide, le soutien et les encouragements constants des collègues de l'unité « *Performance des systèmes de culture des plantes pérennes* », collectif soudé et solidaire, m'ont largement aidé à mener à bien ce travail. Sylvain, tu as ouvert la voie ... Aude, tu prends le relais ! J'adresse spécialement mes remerciements à Véronique Lesage et Yvy Galouye, toujours disponibles et pleines de gentillesse qui au fil du temps, ont su m'aider, chacune à sa manière, à gérer mon stress et mes angoisses !

Enfin, je tiens à remercier Thierry Doré et Emmanuel Torquebiau pour avoir accepté de rapporter cette thèse malgré leurs emplois du temps chargés, ainsi que Jacques Wéry, Lucien Bidzanga Nomo et François Papy pour avoir bien voulu jouer le rôle d'examinateurs et apporter ainsi leur contribution à ce travail.

Merci à tous.

Résumé

La cacaoculture est aujourd'hui considérée comme un des principaux facteurs de déforestation en milieu tropical. Dans de nombreux pays, elle repose en effet sur un modèle technique peu durable de monoculture intensive impliquant le déplacement des zones de production. Souvent délaissés par la recherche en raison de leurs faibles rendements en cacao marchand, les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer apparaissent aujourd'hui comme une alternative crédible pour faire face aux nouveaux enjeux de la cacaoculture mondiale. Au Centre-Sud du Cameroun, la cacaoculture repose en grande partie sur des cacaoyères agroforestières anciennes, ce qui pose l'hypothèse qu'un modèle de cacaoculture durable basé sur des systèmes de culture agroforestiers est possible. Notre objectif est de mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, à travers leurs caractéristiques, leurs évolutions et leurs déterminants, ainsi que les conditions de leur production en cacao marchand sur le long terme. Notre démarche articule à la fois une évaluation des systèmes agroforestiers complexes à l'échelle de la parcelle et une analyse compréhensive des pratiques techniques sur le temps long. La thèse repose sur un dispositif de recherche mis en place dans la région du Centre, dans trois zones de culture différenciables par leurs conditions pédo-climatiques (Bokito, Zima et Ngomedzap). Une enquête d'agriculteurs a été réalisée à grande échelle (1 171 exploitations regroupant 1 638 cacaoyères), complétée par des observations spécifiques réalisées dans un réseau de 61 cacaoyères exploitées par 40 agriculteurs. **Résultats.** (1) Nos résultats d'enquête, complétés par des observations spécifiques, ont confirmé la durabilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer aux plans agro-écologique et socio-économique. (2) Dans la zone de transition forêt-savane, considérée comme sub-optimale pour la cacaoculture, nous avons montré que le modèle technique adopté par les agriculteurs leur permet d'installer sur savane des cacaoyères viables sur le long terme. (3) Une méthode participative de quantification de la valeur d'usage des espèces par les agriculteurs, appliquée sur le réseau d'observation, a confirmé la multifonctionnalité des systèmes agroforestiers et mesuré la place qu'y occupe la composante cacaoyère. (4) L'évaluation des peuplements cacaoyers, réalisée en adaptant la méthode de diagnostic agronomique régional aux systèmes complexes, a permis d'identifier les facteurs limitant le rendement en cacao marchand. Celui-ci s'avère étroitement lié à la structure des peuplements cacaoyers et à celle des peuplements associés. (5) Enfin, l'analyse compréhensive des pratiques des agriculteurs sur le long terme, en lien avec l'évolution technique des peuplements cacaoyers a confirmé la flexibilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer. Cette flexibilité peut être traduite par des trajectoires d'évolution des pratiques et des trajectoires de structures spécifiques. Ce travail fournit une nouvelle base méthodologique pour l'analyse et l'évaluation des systèmes agroforestiers complexes. L'ensemble des résultats et des connaissances produites dans ce travail permet de formuler des propositions pour la mise au point d'un nouveau modèle technique en cacaoculture.

Mots clés : Agroforesterie, *Theobroma cacao* L., durabilité, valeur d'usage, trajectoires de conduite, structure, diagnostic agronomique, analyse des pratiques.

Summary

Cocoa cultivation is generally considered as one of the main deforestation factors in the Tropics. Indeed, in many countries it is based on a low-sustainability technical model of intensive monocrops with shifting production zones. Cocoa agroforests, which are often neglected by research due to their low fermented dried cocoa yields, now appear to be a credible alternative for taking up the new challenges facing world cocoa production. In Centre-South Cameroon, cocoa cultivation is largely based on old cocoa agroforests, which suggests that a sustainable cocoa growing model based on agroforestry systems is possible. Our aim was to more effectively understand how these cocoa agroforests function, through their characteristics, their evolution and their determinants, along with the conditions for their long-term fermented dried cocoa production. Our approach consisted of an evaluation of cocoa agroforests on a plot scale and a comprehensive analysis of technical practices over the long term. The thesis is based on an experimental design set up in the Centre region, in three growing zones that could be differentiated through their pedo-climatic conditions (Bokito, Zima and Ngomedzap). A large-scale survey was undertaken (1,171 farms grouping 1,638 cocoa plantations) completed by specific observations collected in a network of 61 cocoa agroforests managed by 40 farmers. **Results.** (1) Our survey results, completed by specific observations, confirmed the sustainability of the cocoa agroforestry systems from an agro-ecological and socio-economic viewpoint. (2) In the forest-savannah transition zone, which is considered sub-optimum for cocoa cultivation, we confirmed that the technical model adopted by the farmers enabled them to set up cocoa agroforests on savannah that were viable over the long term. (3) In the network, a participatory method applied to quantify the use value given to the species by the farmers confirmed the multi-functionality of cocoa agroforests and measured the place occupied in it by cocoa. (4) The evaluation of the cocoa tree stands, achieved by adapting the regional agronomic diagnosis method to complex systems, revealed the factors limiting cocoa yield. It was proved that cocoa yield is closely linked to the structure of the cocoa tree stand and that of the intercropped stands. (5) Lastly, a comprehensive analysis of farmer practices over the long term, in association with the evolution of the technical management of the cocoa tree stands, confirmed the flexibility of cocoa agroforestry systems. This flexibility was reflected in the evolution pathways for specific practices and structures. This work provides a new methodological basis to assess the performance of complex agroforestry systems. All the results and knowledge produced by this work make it possible to draw up proposals for developing a new technical model for cocoa growing.

Keywords: Agroforestry, *Theobroma cacao* L., sustainability, use value, evolution pathways for practices, structure, agronomic regional diagnosis, analysis of practices.

Sommaire

Introduction.....	5
1. Contexte général.....	9
1.1. Les nouveaux enjeux de la production agricole	9
1.2. Les systèmes agroforestiers complexes	10
2. Le paradoxe du cacaoyer.....	11
2.1. Des peuplements qui peuvent être gérés sur le long terme	11
2.2. Une plante d'ombre aux exigences pédoclimatiques marquées.....	13
2.3. Mais une culture à l'origine de déforestation en Afrique.....	14
3. La cacaoculture camerounaise : un contre-exemple ?	16
3.1. Des bassins de production du cacao aux dynamiques contrastées	17
3.2. Le déclin des cacaoyères du Centre-Sud : un mythe ?	18
4. Problématique agronomique, hypothèses et questions de recherche	20
4.1. Problématique agronomique	20
4.2. Questions de recherche, hypothèses et démarche de travail	20
4.2.1. La durabilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer.....	21
4.2.2. L'extension des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer aux zones sub-optimales de savane.....	22
4.2.3. La plurifonctionnalité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer	23
4.2.4. L'origine des variations de rendement en cacao marchand dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer	23
4.2.5. La flexibilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer.....	24
1. Méthodologie	27
2. Dispositif de recherche.....	28
2.1. Choix des zones d'étude.....	28
2.2. Dispositif de recherche.....	30
2.2.1. Dispositif 1	30
2.2.2. Dispositif 2	31
3. Concepts utilisés	33
3.1. La notion de parcelle.....	33
3.2. La notion de pratiques.....	34
3.3. Le système de culture.....	35
3.4. La notion de trajectoire	36
4. Méthodes spécifiques d'évaluation des systèmes.....	37
4.1. L'estimation de l'importance relative des espèces.....	37
4.2. Le diagnostic agronomique régional et la notion de structure	39

Chapitre 1 : Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer mis au point par les agriculteurs du Centre-Sud du Cameroun constituent-ils des systèmes durables aux plans agro-écologique et socio-économique ?	41
Chapitre 2 : Quel est le modèle technique mis au point par les agriculteurs pour installer des peuplements cacaoyers dans un milieu écologique peu adapté ?	55
Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farm innovation in central Cameroon.....	57
1. Introduction.....	58
2. Materials and Methods	59
2.1. Study site.....	59
2.2. Experimental design, stakeholder survey data and measured data	60
2.3. Statistical analysis.....	61
3. Results	61
3.1. Age and yields of cocoa agroforestry systems on grasslands	61
3.2. Strategies for setting up grassland cocoa agroforestry systems	62
3.3. Agrobiodiversity and stand management.....	63
3.4. Clay and soil carbon contents	64
4. Discussion.....	64
5. Conclusion.....	66
Chapitre 3 : Quelle est la valeur d'usage accordée par les agriculteurs aux différentes espèces qui constituent les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ?	77
Farmers' assessment of the use and value of agrobiodiversity in plurispecific systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon	79
1. Introduction.....	80
2. Material and methods	81
2.1. Study site and sampling	81
2.2. Trees inventories	82
2.3. Farmers' assessment of the use and value of tree species.....	82
2.4. Statistical analysis.....	84
3. Results	84
3.1. Inventory et frequency of non-cocoa species.....	84
3.2. Species richness, agrobiodiversity and tree density	84
3.3. Tree species uses.....	85
3.4. Tree species ranking according to their use value.....	87
3.5. Cocoa agroforests use profile by tree species uses ranking	90
4. Discussion.....	91
4.1. A high agrobiodiversity level.....	91
4.2. Cocoa tree status in agroforestry systems	92
4.3. Species uses and number of species per use: differences between zones	92
4.4. Cocoa agroforests—what is the ideal use profile ?	93

4.5. Adaptation of the Pebble Distribution Method —a relevant participatory method for the assessment of complex agroforestry Systems	93
---	----

Chapitre 4 : Le rendement en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de

cacaoyer est-il lié à leur structure ?.....	103
1. Introduction.....	105
2. Matériel et méthodes.....	107
2.1. Zones d'étude.....	107
2.2. Dispositif d'observation	107
2.3. Méthodologie	108
2.3.1. Le diagnostic agronomique régional	108
2.3.2. Spécificités des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et adaptation du diagnostic agronomique régional.....	109
2.3.3. Elaboration du rendement d'une cacaoyère	112
2.4. Analyses statistiques	123
3. Résultats.....	125
3.1. Caractérisation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer du Centre Cameroun.....	125
3.1.1. Rendement en cacao marchand et composantes du rendement.....	125
3.1.2. Structure du peuplement cacaoyer	127
3.1.3. Structure des peuplements associés aux cacaoyers	130
3.1.4. Etat du peuplement cacaoyer	133
3.1.5. Etat des peuplements associés aux cacaoyers	135
3.1.6. Pression parasitaire liée aux mirides	141
3.1.7. Caractéristiques des sols sous cacaoyers.....	141
3.1.8. Niveau d'agrobiodiversité.....	143
3.2. Diagnostic du rendement des cacaoyères.....	144
3.2.1. Le rendement potentiel en cacao marchand et ses composantes.....	144
3.2.2. Relations entre rendement, composantes du rendement, état et structure du peuplement cacaoyer	146
3.2.3. Relations entre composantes du rendement, état et structure du peuplement cacaoyer, état du milieu, état et structure des peuplements associés.....	150
3.2.4. Synthèse : un schéma d'élaboration du rendement revisité	155
3.2.5. Typologie des cacaoyères : des différences régionales marquées.....	158
4. Conclusion.....	159

Chapitre 5 : La structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est-elle flexible ?163

1. Introduction.....	165
2. Matériel et méthodes.....	167
2.1. Zones d'étude et dispositif d'observation	167
2.2. Méthodologie	167
2.2.1. L'analyse des pratiques.....	167
2.2.2. Analyse des structures des cacaoyères sur le temps long.....	171
2.2.3. Bilan : un croisement de différentes enquêtes.....	172
3. Résultats.....	173
3.1. Histoire de la cacaoculture et des pratiques au Centre Cameroun	173

3.1.1. Un développement de la cacaoculture en quatre phases	173
3.1.2. Les conséquences sur l'évolution des pratiques des agriculteurs.....	178
3.2. Les cacaoyères : des histoires culturelles variées.....	184
3.2.1. Une diversité d'histoires culturelles qui impactent différemment la structure des cacaoyères adultes.....	184
3.2.2. Bilan sur les structures de cacaoyères	190
3.2.3. Les déterminants des trajectoires de conduite.....	191
3.3. Les trajectoires de cacaoyères et leurs conséquences sur le rendement potentiel du peuplement cacaoyer.....	194
3.3.1. Les grands types de trajectoires de structure identifiés.....	195
3.3.2. Conséquences sur les performances actuelles des peuplements cacaoyers : des trajectoires plus ou moins performantes en termes de rendement en cacao marchand	200
4. Conclusion.....	201
 Discussion.....	 205
1. A propos de la méthodologie retenue.....	205
2. Un autre modèle de cacaoculture est-il possible ?	212
3. Perspectives pour le développement agricole	214
4. Perspectives scientifiques.....	215
 Conclusion.....	 219
 Références bibliographiques	 220

Introduction générale

Introduction

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est un arbre dont l'origine botanique est localisée dans les forêts humides d'Amérique tropicale où il se rencontre à l'état naturel (Braudeau, 1969). Anciennement classé dans la famille des sterculiaceae, le cacaoyer est, depuis quelques années, classé dans celle des Malvaceae (classification phylogénique). La culture du cacaoyer, ou cacaoculture, a pour objectif la production de fèves de cacao (annexes : planche photos 1) principalement destinées à l'industrie du chocolat et, dans une moindre mesure, à l'industrie cosmétique et pharmaceutique.

La cacaoculture concerne environ 70 pays, tous situés dans la bande intertropicale. Il s'agit d'une activité très ancienne puisque le cacaoyer était cultivé par les Mayas en Amérique centrale et au Mexique bien avant la découverte du Nouveau Monde par les Espagnols en 1502. Mais après avoir été pendant des siècles exclusivement américaine, la cacaoculture est aujourd'hui devenue principalement africaine. Quelques chiffres illustrent l'évolution de la production mondiale de cacao depuis presque deux siècles. En 1830, 10 000 tonnes de cacao sont produites en totalité en Amérique tropicale. En 1900, la production mondiale de cacao atteint 115 000 tonnes dont 17 % proviennent d'Afrique. En 1964, elle atteint 1 528 000 tonnes dont 78 % sont produites en Afrique. Actuellement, la production africaine de cacao est évaluée à 2,6 millions de tonnes pour une production mondiale de cacao qui oscille entre 3,7 et 3,4 millions de tonnes (Anon, 2010). Les $\frac{3}{4}$ de la production mondiale de cacao proviennent en fait de quatre pays africains : la Côte d'Ivoire avec 1,3 million de tonnes¹, le Ghana (680 000 tonnes), le Nigéria (207 000 tonnes) et le Cameroun (183 000 tonnes). Aujourd'hui, le cacao est la troisième matière première agricole échangée dans le monde en termes de valeur (Anon, 2010).

La cacaoculture joue un rôle majeur dans l'économie des principaux pays africains producteurs de cacao où cette culture répond à trois objectifs : procurer des devises au pays, contribuer au budget de l'Etat et fournir un revenu aux populations rurales qui en vivent. La production africaine de cacao est pratiquée par une majorité de petits agriculteurs pour lesquels la vente de cacao marchand demeure la principale source de revenu (Clay, 2004 ; Donald, 2004). A la fin des années 1980, la libéralisation de l'économie mondiale, concomitante aux effets de la crise des cours internationaux des matières premières, a cependant profondément modifié l'environnement macro-économique des exploitations agricoles qui vivent de la cacaoculture. Dans de nombreux pays, le processus de libéralisation a entraîné la suppression du principe de stabilisation du prix d'achat du cacao et le désengagement des pouvoirs publics de la filière cacao dans laquelle ils s'étaient fortement impliqués depuis les années 1960 (Affou, 1997). Depuis le début des années 1990, les producteurs africains de cacao doivent donc faire face aux fortes fluctuations des prix mondiaux du cacao qui, lorsqu'ils chutent, remettent en cause l'existence même des exploitations familiales qui dépendent de cette spéculation (Laporte, 1992).

Dans plusieurs pays africains, la pérennité des exploitations agricoles qui vivent de la production de cacao est également menacée par la disparition des terres forestières. Bien que le cacaoyer soit considéré comme une plante d'ombre, sa productivité augmente en effet lorsqu'il est totalement exposé à la lumière (Braudeau, 1969).

¹ Moyenne de 2005 à 2009 (Anon, 2010)

Le modèle technique proposé aux agriculteurs par le monde de la recherche-développement privilégie de ce fait la conduite de cacaoyères en culture pure ou sous un ombrage léger et homogène, intensive en travail et en intrants chimiques : fertilisation minérale, traitements phytosanitaires (Wood et Lass, 1985 ; Willson, 1999). Ce modèle, qui permet d'obtenir des rendements en cacao marchand élevés au cours des premières années d'exploitation des cacaoyères, est adopté par bon nombre d'agriculteurs notamment en Côte d'Ivoire. Ces derniers toutefois ne recourent pas aux engrais minéraux. Ainsi, après 10 à 20 ans, faute de fertilisation minérale, la productivité des cacaoyers s'effondre, favorisant l'abandon des cacaoyères âgées au profit de nouvelles plantations sur des défriches forestières (Ruf, 1995). La raréfaction des terres forestières remet par conséquent en cause ce modèle de développement de la cacaoculture basé sur le déplacement des zones de production aux dépens de la forêt.

Aujourd'hui, les principaux pays africains producteurs de cacao sont donc confrontés à un double enjeu : maintenir, voire augmenter, leur niveau de production en cacao marchand en raison de la place qu'occupe cette matière première agricole dans leur économie, tout en stabilisant les zones de production existantes pour limiter au maximum la disparition des espaces forestiers liée à la cacaoculture et réduire ainsi son impact négatif sur l'environnement.

Ce double enjeu implique par conséquent d'identifier un nouveau modèle technique qui permette de passer du modèle itinérant qui prévaut actuellement, à un modèle durable, davantage respectueux de l'environnement.

Notre hypothèse est qu'il existe d'autres modèles techniques de cacaoculture, mis au point par des agriculteurs. Ces systèmes à base de cacaoyer sont de type agroforestier où le cacaoyer est associé à de nombreuses espèces pérennes, forestières et fruitières, aux usages multiples, qui fournissent aux agriculteurs différents produits qu'ils consomment ou qu'ils vendent, ce qui leur permet de limiter les risques face à la volatilité des cours mondiaux du cacao. Ces systèmes se rencontrent au Mexique (Salgado-Mora et al., 2007) et au Brésil (Ruf et Schroth, 1995) où ils sont d'ailleurs connus sous le terme de *cabruças*, mais également en Indonésie (Jührbandt et al., 2010), au Nigéria (Degrande et al., 2006 ; Oke et Odebiyi, 2007), au Ghana (Asare et Tetteh, 2010) et au Cameroun (Laird et al., 2007, Zapfack et al., 2002 ; Bidzanga, 2005 ; Sonwa et al., 2007). En matière d'environnement, ces systèmes offrent une gamme de services tels que la conservation de la biodiversité, le maintien de la fertilité des sols et la séquestration du carbone (Duguma et al., 2001 ; Rice et Greenberg, 2000 ; Schroth et Harvey, 2007 ; Gockowski et Sonwa, 2010).

Le fonctionnement des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer demeure cependant mal connu car ils sont généralement restés ignorés des agronomes, voire décriés, en raison de la faiblesse de leurs rendements en cacao marchand. Avant de formuler des recommandations techniques aux agriculteurs afin de leur permettre d'accroître leur production de cacao, il convient donc de mieux connaître ces systèmes dont l'évaluation est toutefois rendue délicate en raison de leur complexité et de la longueur du cycle biologique des espèces qui les composent.

Pour ce faire, nous avons installé notre dispositif de recherche au Centre-Sud du Cameroun où une grande partie du verger cacaoyer est constitué de parcelles anciennes et toujours exploitées par les agriculteurs.

Sur le plan scientifique, notre travail de thèse répond à un double objectif : d'une part, analyser le fonctionnement de la composante biophysique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et les évaluer, en particulier en termes de rendement en cacao marchand, sur un pas de temps long ; et d'autre part, identifier les évolutions de ces systèmes au cours du temps et les déterminants agro-écologiques et socio-économiques de ces évolutions, notamment à travers la structure et la conduite technique de ces systèmes. Notre évaluation s'inscrit dans une démarche de compréhension du fonctionnement des systèmes de culture pour améliorer les pratiques des agriculteurs ou en concevoir de nouvelles (Meynard et al., 2001).

Sur le plan opérationnel, notre étude entre dans le cadre d'un programme plus global de hiérarchisation des facteurs à l'origine des limitations du rendement en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer sur lesquels un programme d'amélioration de ces systèmes doit se focaliser. Il s'agit d'identifier les améliorations techniques correspondant aux objectifs et aux contraintes des agriculteurs, et susceptibles de leur être proposées pour faire évoluer leurs systèmes tout en respectant des objectifs économiques, sociaux et environnementaux. Il s'agit aussi d'évaluer les marges de manœuvre techniques dont ils disposent pour faire évoluer leurs systèmes. Partir de l'analyse des situations existantes et proposer des évolutions en adéquation avec les objectifs des agriculteurs est en effet un préalable pour que les propositions qui leur sont faites soient retenues (Jouve, 1992 ; Capillon, 1993).

Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer du Centre-Sud du Cameroun sont une combinaison de deux composantes distinctes : un peuplement cacaoyer qui en constitue la composante principale, et un peuplement d'espèces associées, plurispécifique et multifonctionnel, plus difficile à caractériser et à évaluer avec les outils de l'agronomie. Nous évaluerons ainsi doublement ces systèmes à travers leur production de cacao marchand, qui est une variable facilement quantifiable, et l'importance relative qu'accordent les agriculteurs aux différentes espèces cultivées en association, en resituant notamment la composante cacaoyère au sein de ces systèmes.

Nous adopterons à la fois une approche synchronique pour analyser le fonctionnement de la composante biophysique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, à un temps t , et une approche diachronique pour identifier les évolutions de ces systèmes au cours du temps et les déterminants agro-écologiques et socio-économiques de ces évolutions, en particulier à travers l'évolution de la structure du peuplement cacaoyer et de celle des peuplements associés.

Nous aborderons le système agroforestier à base de cacaoyer en termes de trajectoire, correspondant à une succession d'états structuraux de végétation, en relation avec le développement des cacaoyers et les modifications de conduite au cours du temps. Notre démarche articulera à la fois une évaluation de ces systèmes à l'échelle de la parcelle et une analyse compréhensive des pratiques techniques sur le temps long. Après une caractérisation régionale des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et de leur dynamique sur le long terme (chapitres 1 et 2), à l'échelle de la parcelle, notre évaluation portera d'abord sur les usages et la valeur d'usage de l'ensemble des espèces qui composent ces systèmes (chapitre 3), avant d'aborder les performances agronomiques des peuplements cacaoyers en identifiant les facteurs limitant leur rendement potentiel en cacao marchand (chapitre 4). Enfin, notre analyse des pratiques intégrera le temps long, en reconstituant et en contextualisant les trajectoires d'évolution des pratiques, puis en les reliant aux situations culturelles actuelles des cacaoyères (chapitre 5).

Problématique

1. Contexte général

1.1. Les nouveaux enjeux de la production agricole

Après la seconde guerre mondiale, l'objectif assigné à l'agriculture dans les pays occidentaux est l'augmentation de la productivité par unité de surface afin d'atteindre l'autosuffisance alimentaire et dégager des surplus commercialisables susceptibles de contribuer à l'équilibre des balances commerciales (Griffon, 1999). L'atteinte de cet objectif a entraîné l'intensification importante des modes de conduite des différentes cultures tempérées par le recours à une forte mécanisation, une utilisation massive d'intrants, notamment d'engrais et de produits phytosanitaires de synthèse, et une simplification des systèmes de culture où la plupart des espèces sont conduites en culture pure. Ces nouvelles pratiques agricoles ont permis d'augmenter significativement la production agricole mais elles ont aussi eu des impacts environnementaux négatifs considérables. Localement, l'intensification des pratiques agricoles a souvent entraîné l'augmentation des processus d'érosion, une baisse de la fertilité des sols ou une réduction de la biodiversité végétale et animale. A l'échelle régionale, dans bien des cas, l'agriculture moderne a entraîné la pollution des eaux superficielles et souterraines ou l'eutrophisation d'écosystèmes aquatiques. Enfin, globalement, l'émission importante de gaz à effet de serre ou l'érosion de la biodiversité sont des impacts négatifs en grande partie attribués à l'intensification des pratiques agricoles depuis 1945 (Griffon, 1999 ; Tilman et al., 2002).

Aujourd'hui, la production agricole mondiale doit donc faire face à de nouveaux enjeux : d'une part, atteindre des objectifs de production grandissants pour satisfaire les besoins d'une population en constante augmentation ; et d'autre part, réduire les impacts négatifs sur l'environnement afin de ne pas compromettre la disponibilité des ressources pour les générations futures. Le défi d'une agriculture plus durable, en termes économiques et environnementaux, mais aussi plus productive, nécessite donc de mettre au point des systèmes de culture écologiquement plus performants. Dans ce contexte, l'agroforesterie est aujourd'hui perçue comme une option d'utilisation des terres pouvant contribuer à résoudre certaines menaces pesant sur l'environnement, en particulier dans les pays tropicaux où la destruction des forêts est un enjeu majeur (Torquebiau, 2002).

Bien qu'il s'agisse d'une pratique ancienne (Brookfield, 1994 ; Torquebiau, 2007), une première définition de l'agroforesterie n'est donnée que dans les années 1970 quand la recherche agronomique commence à s'y intéresser (Bene et al., 1977)². Depuis, d'autres définitions ont été proposées comme celle de Leakey (1996) pour qui « *l'agroforesterie devrait être considérée comme un système de gestion des ressources naturelles, dynamique et basé sur l'écologie, qui diversifie et maintient la production des petits planteurs à travers l'intégration des arbres dans l'exploitation agricole dans le but d'améliorer les bénéfices économiques, sociaux et environnementaux* ». Cette définition suggère cependant que tout système agroforestier est nécessairement écologique et durable, ce qui n'est pas forcément le cas.

² Ces auteurs définissent l'agroforesterie comme « *un système de gestion durable de la terre qui augmente la production totale, associe des cultures agricoles, des arbres, des plantes forestières et / ou des animaux simultanément ou en séquence et met en œuvre des pratiques de gestion qui sont compatibles avec la culture des populations locales* ».

Pour pallier ce pré-supposé, Torquebiau (2000) propose une définition qui rapproche l'agroforesterie du reste de l'agriculture en la considérant comme une forme de production comparable à celles que compte l'activité agricole en général : *« l'agroforesterie est la mise en culture d'une parcelle avec une association, simultanée ou séquentielle d'arbres, de cultures annuelles ou de productions animales pour obtenir des biens et des services utiles à l'homme »*.

Parmi les nombreux systèmes agroforestiers identifiés dans le monde (cultures sous couvert arboré, systèmes en disposition linéaire, techniques agroforestières séquentielles, etc.), les agroforêts, ou systèmes agroforestiers complexes (Michon et de Foresta, 1999), qui appartiennent à la catégorie des associations simultanées d'arbres, occupent une place privilégiée en raison notamment de leurs atouts écologiques en termes de biodiversité, protection du sol et recyclage des nutriments (Torquebiau, 2007).

1.2. Les systèmes agroforestiers complexes

Les systèmes agroforestiers complexes sont à l'origine de la définition de l'agroforesterie proposée par le laboratoire de botanique tropicale de Montpellier, à savoir un *« système de gestion des ressources, contrôlé par la population locale où des arbres sont associés à l'activité agricole ou d'élevage sur une même parcelle de façon à ce que l'écosystème résultant ressemble à celui d'une forêt naturelle en termes de richesse spécifique, de structure végétale et de biomasse aérienne et racinaire »*. Les agroforêts sont ainsi généralement caractérisées par un peuplement dominant, principale source de revenu ou d'utilisation (hévéa, caféier, cacaoyer, etc.), tout en étant constituées de nombreux autres composants (arbres, lianes, arbustes), tant en espèces qu'en fréquence, organisés en plusieurs strates (Michon et de Foresta, 1997).

Ces systèmes sont généralement continus dans le temps et peuvent être confondus avec la forêt secondaire car certaines plantes spontanées sont préservées par les agriculteurs et poussent en association avec la composante principale, soit parce qu'elles participent à la production (fruitiers locaux, espèces médicinales, bois d'œuvre, etc.), soit parce qu'elles ne génèrent aucune baisse de productivité des autres espèces en association, soit enfin, parce qu'elles jouent un rôle d'économiseur d'intrants ou d'entretien (Penot, 2001). Les agroforêts sont donc conservatrices d'un certain niveau de biodiversité, pouvant aller jusqu'à un niveau proche de celui de la forêt secondaire selon les systèmes (Michon et al., 1995). Cette biodiversité peut être *« économiquement utile »* lorsqu'elle produit des sources de revenus. Elle peut être *« écologiquement utile »* quand elle a une fonction de protection de l'environnement et est génératrice de durabilité. La biodiversité *« restante »* n'a pas de fonction particulière et demeure en place tant qu'elle ne gêne pas les deux précédentes.

Au contraire des systèmes de culture intensifs privilégiant la culture d'une seule espèce, les systèmes agroforestiers complexes mettent en pratique des principes écologiques basés sur la biodiversité, les interactions entre les espèces, qu'elles soient positives, négatives ou neutres, et d'autres mécanismes naturels de régulation. Les avantages de ces systèmes complexes sont multiples et de nombreux travaux de recherche récents les mettent en avant (Malézieux et al., 2009). Ces systèmes permettent en particulier une productivité globale plus élevée par unité de surface, un meilleur contrôle de la pression parasitaire, des services écologiques accrus (conservation de la biodiversité, maintien de la fertilité des sols, séquestration du carbone, etc.) et une meilleure rentabilité économique.

Une partie significative de l'agriculture tropicale repose sur ces systèmes agroforestiers complexes qui contribuent à l'alimentation et au revenu de millions de familles rurales. Dans le contexte actuel de crise alimentaire et de changement climatique, la communauté scientifique internationale porte un intérêt croissant aux systèmes agroforestiers complexes tropicaux qui apparaissent comme une alternative crédible pour atteindre les objectifs du millénaire en matière d'éradication de la faim et de lutte contre la pauvreté dans le monde (Garritty, 2004).

Si les systèmes agroforestiers complexes peuvent servir de modèles pour la mise au point de nouveaux systèmes de culture, ils apparaissent cependant, de par leurs caractéristiques, beaucoup plus difficiles à appréhender et à conduire que les systèmes monospécifiques (Vandermeer, 1989 ; Vandermeer et al., 1998). L'évaluation des systèmes agroforestiers complexes pose en particulier problème. D'une part, ils doivent être étudiés sur le long terme pour appréhender les différents aspects de leur durabilité (agronomique, écologique, sociale, économique). D'autre part, les interactions qui s'exercent au sein de ces systèmes pour le partage des ressources entre les espèces associées et entre les individus d'une même espèce, s'exercent à la fois dans le milieu aérien (bilan radiatif et encombrement de l'espace) et souterrain (eau, nutriments et encombrement de l'espace) (Nair, 1993 ; Rao et al., 1998 ; Huxley, 1999). Ces interactions sont donc multiples et par conséquent difficilement quantifiables.

Parmi les systèmes agroforestiers complexes, ceux à base de cacaoyer présentent un intérêt particulier. Les caractéristiques morphologiques du cacaoyer permettent en effet de le gérer sur le long terme. De plus, le cacaoyer est une plante d'ombre typique en raison de ses origines et des caractéristiques physiologiques de son appareil photosynthétique (Alvim, 1977). Paradoxalement, dans une bonne partie des pays producteurs de cacao, comme en Côte d'Ivoire, la cacaoculture repose sur un modèle technique peu durable où le cacaoyer est conduit sans ombrage, au détriment des zones forestières (Dixon et al., 2001).

2. Le paradoxe du cacaoyer

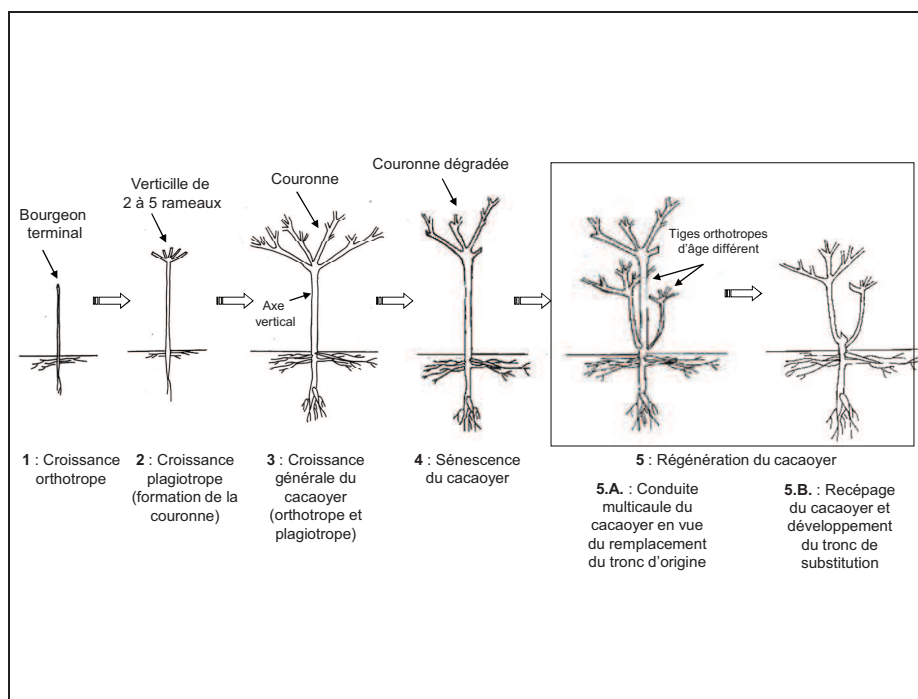
2.1. Des peuplements qui peuvent être gérés sur le long terme

Sur le plan morphologique, le cacaoyer adulte peut atteindre 25 mètres lorsqu'il pousse à l'état sauvage en forêt mais les interventions culturelles des agriculteurs limitent en général sa croissance à une hauteur moyenne de cinq à sept mètres (Braudeau, 1969). La partie aérienne du cacaoyer se constitue à partir du tronc qui se développe d'abord en un axe vertical (orthotropie) dont la croissance en hauteur s'effectue par poussées successives jusqu'à l'âge de 18 mois environ. La croissance du tronc est alors interrompue en raison de la dégénérescence du bourgeon terminal sous lequel apparaissent simultanément les premières ramifications, sous forme d'un verticille de cinq rameaux, à développement sub-horizontale (plagiotropie). Ces rameaux deviendront les branches charpentières de la frondaison qui constitueront, avec les ramifications secondaires auxquelles elles donneront naissance, la couronne du cacaoyer. La croissance des branches de la couronne, indéfinie et discontinue, se fait par des poussées foliaires successives (« *flushes* »), en général au nombre de quatre à cinq par an, séparées par des périodes de dormance des bourgeons terminaux. Au moment de l'apparition de la couronne, le tronc atteint une hauteur moyenne de 1,5 mètre, souvent considérée comme définitive.

Cette hauteur peut cependant varier selon les individus, les conditions de culture et d'environnement. Dans une ambiance très ombragée, le jeune cacaoyer aura en effet tendance à filer et sa couronne sera plus haute ; ce sera l'inverse dans un environnement ensoleillé (Burle, 1961).

Par ailleurs, d'autres bourgeons axillaires, situés à l'aisselle d'une feuille ou d'une cicatrice foliaire, ou sous les branches de la couronne, peuvent, si l'agriculteur les maintient, se développer et donner naissance à des rejets orthotropes qui se comporteront exactement comme le tronc initial. Le maintien du rejet le plus vigoureux, après élimination des autres, permet au tronc de croître d'une hauteur équivalente et de former une deuxième couronne. Lorsque cette dernière est bien développée, la première couronne disparaît progressivement ou est éliminée par l'agriculteur : plusieurs étages peuvent ainsi se superposer successivement au tronc initial. Des rejets orthotropes peuvent aussi se développer à la base du tronc, certains d'entre eux émettant parfois des racines s'ils sont conservés par l'agriculteur. Cette capacité du cacaoyer à émettre des rejets orthotropes à la base du tronc offre donc à l'agriculteur une grande souplesse pour le tailler et le conduire de multiples façons notamment pour le rajeunir. Quand le cacaoyer commence à décliner et que sa productivité diminue fortement, il est ainsi toujours possible de procéder à sa régénération en le recépant pour laisser se développer un ou plusieurs rejets de substitution qui permettront de renouveler le tronc et la couronne d'origine et débiter un nouveau cycle de production (figure 1).

Figure 1 : Exemple d'évolution architecturale d'un cacaoyer au cours du temps.



Par ailleurs, la capacité du cacaoyer à se développer dans un environnement ombragé permet de replanter, au sein des peuplements déjà installés, de jeunes plants dont la croissance sera possible y compris si les conditions d'ombrage ne permettent qu'un éclaircissement relatif inférieur à 10 % (Burle, 1961).

Outre la longueur du cycle biologique du cacaoyer qui peut aller jusqu'à 80 ans, voire davantage (Montgomery, 1981), les caractéristiques morphologiques et physiologiques de cette espèce offrent donc à l'agriculteur la possibilité de gérer un peuplement cacaoyer sur le long terme, soit en recépant un cacaoyer sénescant pour renouveler son tronc d'origine (nous parlerons dans ce cas de régénération) ; soit en remplaçant une ancienne souche par un cacaoyer plus jeune (nous parlerons alors de redensification)³ (annexes : planche photos 2).

2.2. Une plante d'ombre aux exigences pédoclimatiques marquées

Le cacaoyer étant originaire de la grande forêt équatoriale sud-américaine où il se rencontre à l'état naturel, les conditions optimales de son développement sont obtenues dans les régions humides comprises entre les 10^{ème} parallèles Nord et Sud (Braudeau, 1969).

Le cacaoyer exige une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 1 500 et 2 500 mm de pluies. Dans les sols riches et profonds, il peut cependant végéter correctement avec seulement 1 100 à 1 200 mm. A l'inverse, le cacaoyer peut pousser dans des régions où la pluviométrie annuelle atteint cinq mètres. La répartition des pluies et la durée de la saison sèche sont également deux facteurs à considérer. Une répartition uniforme des pluies est souhaitable et la saison sèche ne doit pas dépasser deux à trois mois, une durée plus longue conduisant la plante, dans des terrains moyennement fertiles, à souffrir considérablement. Il est également préférable que durant ces trois mois de saison sèche maximum, la pluviométrie soit supérieure à 70 mm car des déficits hydriques trop prononcés peuvent provoquer, en condition de culture pure, une défoliation totale des cacaoyers pouvant entraîner leur mort, ou affecter fortement l'établissement des jeunes cacaoyers : mortalités et retard de développement (Burle, 1961 ; Braudeau, 1969).

Le cacaoyer supporte des températures maximales moyennes comprises entre 30° C et 32° C et des températures minimales moyennes comprises entre 18 et 21° C. Idéalement, la température moyenne annuelle optimum se situe aux environs de 25 ° C et ne doit pas être inférieure à 21°C, la moyenne des minimas quotidiens devant être supérieure à 15°C (Burle, 1961 ; Braudeau, 1969).

Le cacaoyer peut se développer sur des sols d'origines très diverses qui doivent cependant remplir un certain nombre de conditions physiques et chimiques bien définies. Le système racinaire du cacaoyer est en effet composé d'un pivot, simple ou multiple, qui s'enfonce profondément dans le sol et peut atteindre plus de deux mètres, et d'un grand nombre de racines traçantes se ramifiant de tous côtés et se développant dans la couche supérieure humifère du sol où elles puisent à la fois les éléments minéraux et l'eau nécessaires à la vie de la plante. *« Il en résulte que le cacaoyer requiert des sols profonds (minimum 1,5 m), bien drainants (non hydromorphes), de préférence à texture sablo-argileuse, proche de la neutralité (pH compris entre 5 et 8, de préférence entre 6 et 7,5), à l'horizon superficiel riche en matière organique (3 % au minimum) et assez bien pourvu en éléments minéraux, même si ce dernier facteur peut être corrigé par des apports en éléments minéraux »* (Hanak Freud et al., 2000).

³ La réhabilitation d'une ancienne cacaoyère peut être ainsi réalisée en régénérant les cacaoyers âgés par recépage et en redensifiant le peuplement cacaoyer en remplaçant les arbres manquants.

Lorsque les exigences pédoclimatiques du cacaoyer sont satisfaites et que celui-ci est cultivé dans un environnement similaire à son milieu d'origine, il est communément admis que sa productivité demeure faible (Burle, 1961). En effet, si le cacaoyer possède la capacité de se développer dans un environnement ombragé, il s'avère que sa production potentielle est limitée, en dehors de tout autre facteur limitant, lorsque l'éclairement reçu est inférieur à 1 800 heures par an (Asomaning et al., 1971 ; Gerritsma et Wessel, 1996). Ainsi, pendant les premiers stades de son développement, le jeune cacaoyer a « *besoin pour une croissance optimum d'un ombrage relativement dense ne laissant passer que 25 à 50 % de la lumière totale* ». Ensuite, lorsque « *l'auto-ombrage intervient en diminuant l'intensité lumineuse moyenne reçue par unité de surface foliaire sur l'ensemble de l'arbre, l'ombrage doit être progressivement diminué pour laisser passer 70 % de la lumière* », voire davantage (Braudeau, 1969).

De nombreux travaux de recherche ont établi que « *l'ombrage constitue un frein à la production et que le rendement maximum d'un cacaoyer adulte ne peut être obtenu qu'avec une exposition totale à la lumière* » (Braudeau, 1969), à plus forte raison s'il s'agit de matériel végétal sélectionné à haut rendement (Ahenkorah et Akrofi, 1968 ; Besse, 1972 ; Ahenkorah et al., 1974). En fait, les interactions entre les nombreux facteurs écologiques qui interviennent dans la culture du cacaoyer sont complexes et il est difficile de dissocier l'influence de chacun d'eux de celle de l'ensemble des éléments qui constituent l'environnement (Burle, 1961 ; Braudeau, 1969).

Pour obtenir des rendements en cacao marchand supérieurs à ceux que le cacaoyer est capable de fournir lorsqu'il est placé sous un ombrage dense, il est généralement recommandé de le cultiver en culture pure ou sous un ombrage léger (Enriquez, 1985 ; Wood et Lass, 1985 ; Willson, 1999).

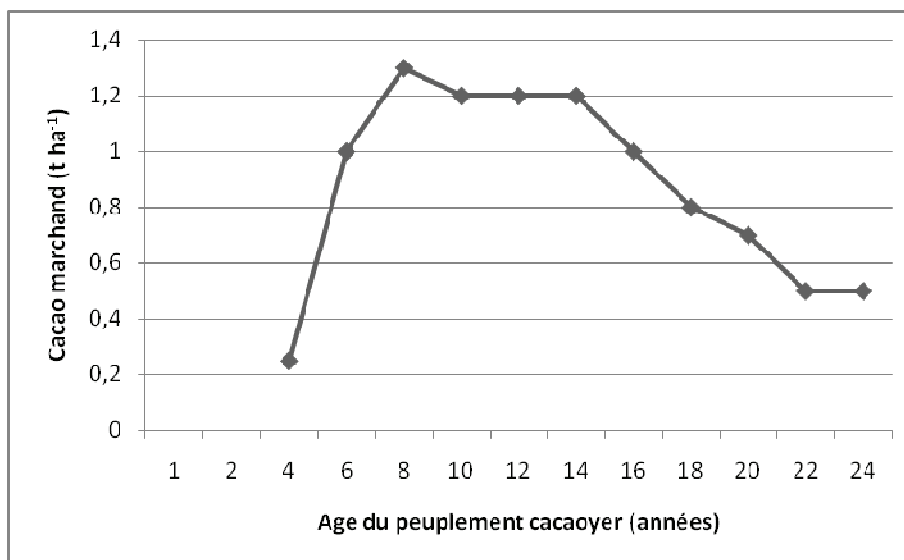
2.3. Mais une culture à l'origine de déforestation en Afrique

Ainsi, dans une bonne partie des pays producteurs de cacao, les agriculteurs optent souvent pour le modèle technique recommandé par la recherche agronomique.

Or, lorsque que le cacaoyer est cultivé sans ombrage, sa productivité optimum ne peut être obtenue « *que dans la mesure où tous les autres facteurs d'environnement sont favorables* » : disponibilités en éléments minéraux en quantité suffisante, apport régulier d'engrais, pluviométrie suffisante et bien répartie, protection phytosanitaire contre les mirides (Braudeau, 1969). Faute de quoi, l'absence d'ombrage manifeste au contraire un effet dépressif sur les rendements qui sont satisfaisants à court terme mais baissent fortement ensuite (Ahenkorah et al., 1974 ; Jadin, 1992).

En l'absence de fertilisation minérale, ce qui est fréquemment le cas des cacaoyères familiales, le rendement des cacaoyères installées après une défriche forestière est ainsi élevé au cours des premières années d'exploitation des cacaoyères mais après 20 à 30 années d'exploitation, voire moins, il s'effondre (Petithuguenin, 1995 ; Lachenaud, 2005) (figure 2).

Figure 2 : Evolution du rendement d'une cacaoyère conduite sans ombrage.



Source : Lachenaud, 2005

Les cacaoyères âgées doivent alors être réhabilitées en raison de l'épuisement de la fertilité du sol et du déclin biologique des cacaoyers qui entraînent une baisse de leur productivité et de fortes mortalités (Laryea, 1971). Le surcoût en travail et en intrants qu'impliquent les opérations de redensification des cacaoyères et de régénération des cacaoyers limite cependant leur intérêt par rapport à l'installation d'une nouvelle cacaoyère sur défriche forestière (Trivedi, 1992). Cette dernière offre par ailleurs aux agriculteurs un intérêt agronomique supérieur à la réhabilitation des anciennes cacaoyères : meilleure fertilité du sol, pression parasitaire et enherbement réduits (Ruf, 1995). Face à de tels avantages, les anciennes cacaoyères sont donc le plus souvent abandonnées par les agriculteurs qui migrent vers de nouveaux fronts pionniers. Les cacaoyers peuvent également être remplacés par d'autres espèces pérennes, comme l'hévéa et le palmier à huile (Harwich, 1992 ; Ruf, 1995).

On comprend mieux dès lors pourquoi la cacaoculture a été qualifiée de « *culture pérenne itinérante* » dès le début du XX^{ème} siècle par Knapp (1920) : les nouvelles zones de production de cacao installées sur des fronts pionniers forestiers permettent aux producteurs de cacao de bénéficier d'une « *rente forestière* » (Ruf, 1987), similaire à une rente minière, offrant des coûts de production très bas (MacLeod, 1973 ; Harwich, 1992 ; Touzard, 1993 ; Ruf, 1995).

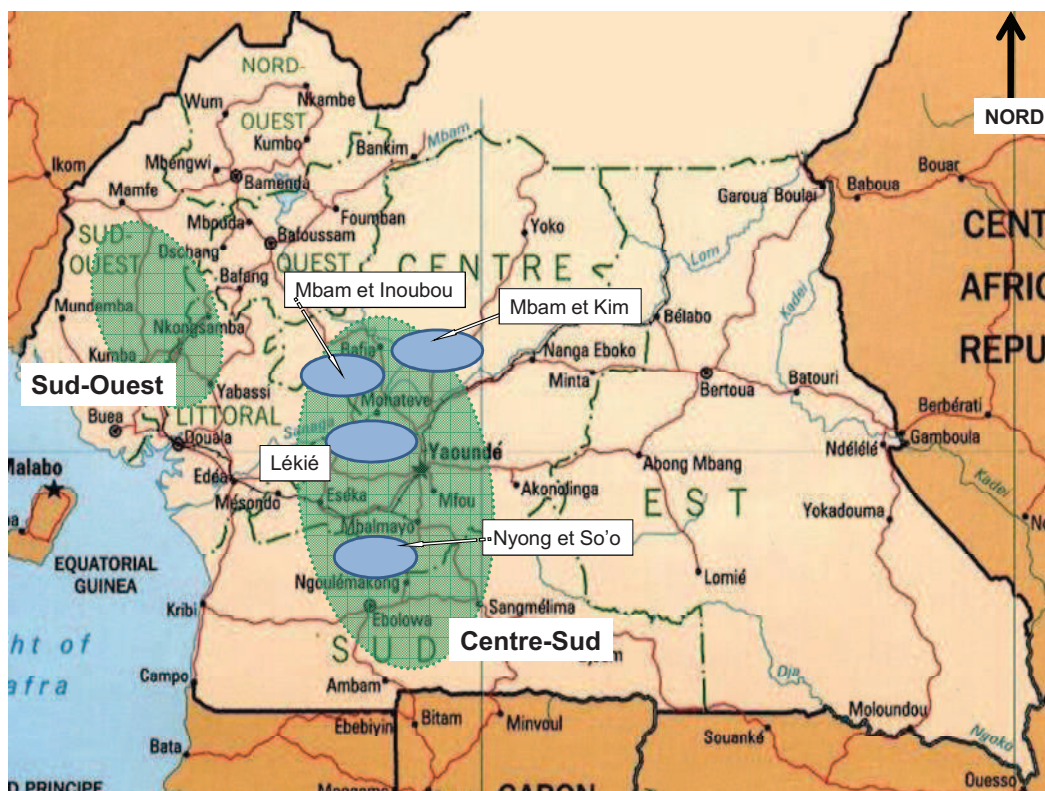
Le vieillissement des cacaoyères et l'ouverture de nouveaux fronts pionniers constituent ainsi les principaux facteurs des cycles du prix, de l'offre et de la demande de cacao sur le marché mondial : la meilleure productivité des nouvelles cacaoyères créées après une défriche forestière provoque une surproduction mondiale de cacao et par conséquent une chute des cours mondiaux. Quelques années plus tard, la baisse des rendements des mêmes cacaoyères entraîne une baisse de la production mondiale et une remontée des cours mondiaux qui favorisent l'ouverture de nouveaux fronts pionniers (Ruf, 1995).

Face à la dégradation des conditions de production dans les cacaoyères âgées, le développement de la cacaoculture mondiale, et plus particulièrement africaine, est ainsi en bonne partie basé sur le déplacement des zones de culture au détriment des zones forestières qui ont aujourd'hui pratiquement disparu dans certains pays. En Côte d'Ivoire, la surface forestière est ainsi passée de 13 à 3 millions d'hectares entre 1960 et 1990 du fait de l'expansion du verger cacaoyer (Hanak Freud et al., 2000). Il en est de même au Ghana où l'on estime que 80 % des zones forestières ont disparu depuis l'introduction du cacaoyer dans ce pays (Cleaver, 1992).

3. La cacaoculture camerounaise : un contre-exemple ?

Pays producteur de cacao depuis le début du XX^{ème} siècle, le Cameroun occupe aujourd'hui le cinquième rang mondial avec 210 000 tonnes de cacao exportées en 2008-2009 (Anon, 2010). La production nationale de cacao est principalement issue de deux bassins de production : le Sud-Ouest et le Centre-Sud (figure 3). Les dynamiques différentes que connaissent ces deux bassins de production suggèrent que l'évolution de la cacaoculture camerounaise n'échappe pas à l'allure cyclique des dynamiques cacaoyères précédemment évoquées. Mais dans le même temps, contrairement à ce qui est observé dans les principaux pays producteurs de cacao, comme la Côte d'Ivoire, la cacaoculture camerounaise repose quant à elle en grande partie sur des systèmes agroforestiers anciens.

Figure 3 : Localisation des deux principaux bassins de production du cacao du Cameroun.



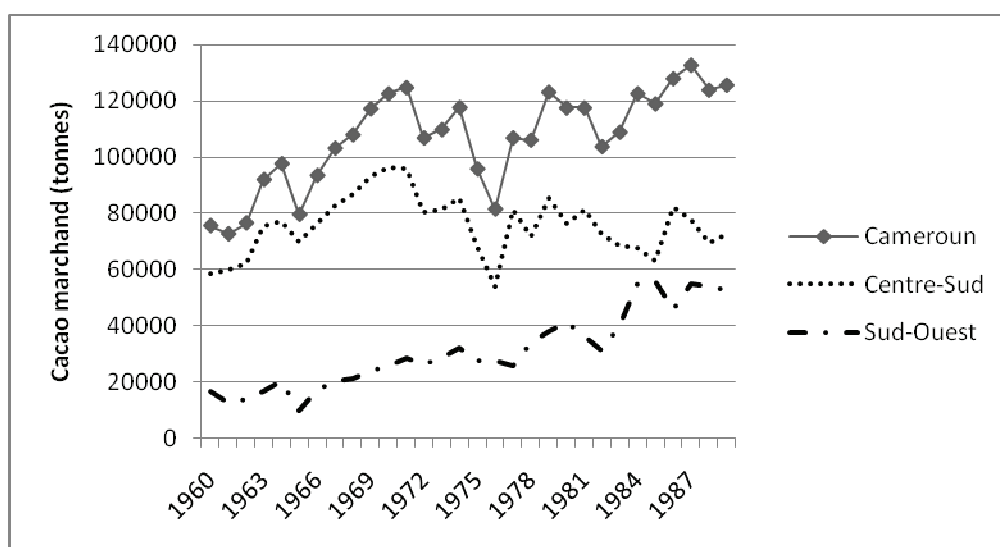
3.1. Des bassins de production du cacao aux dynamiques contrastées

L'évolution comparée des productions de cacao des deux bassins de production du pays de 1960 à 1989⁴ illustre le contraste qui existe entre le Sud-Ouest et le Centre-Sud (figure 4). Au cours de cette période, les tonnages produits au Sud-Ouest augmentent en effet régulièrement de 7 % par an et passent de 17 000 à 52 000 tonnes alors que les tonnages produits au Centre-Sud demeurent relativement stables et oscillent entre 60 000 et 80 000 tonnes par an. En conséquence, en 30 ans, la contribution du Sud-Ouest à la production nationale passe de 22 % à 42 % tandis que celle du Centre-Sud régresse, passant de 78 % à 58 %.

En termes de structuration, le verger cacaoyer du Sud-Ouest est relativement jeune en raison de l'ouverture de fronts pionniers et seules 20 % des cacaoyères ont plus de 30 ans (Losch et al., 1991). Par ailleurs, des observations indiqueraient que les agriculteurs conduisent leurs cacaoyères avec un ombrage permanent léger limité à la présence d'arbres fruitiers. Les itinéraires techniques seraient intensifs, les agriculteurs réalisant les travaux de désherbage et de taille avec assiduité et utilisant presque systématiquement des produits fongicides et insecticides (Losch et al., 1991). Les rendements en cacao marchand seraient compris entre 900 kg et 1 200 kg ha⁻¹ en conduite intensive du verger et de l'ordre de 600 kg ha⁻¹ en conduite semi-intensive (Varlet et Berry, 1997).

Au contraire du Sud-Ouest, la structuration par âge du verger cacaoyer du Centre-Sud confirmerait son vieillissement, déjà signalé au début des années 1960 (Champaud, 1966) : 40 % des cacaoyères ayant été plantées avant 1950 (Anon, 2001). Dans le département du Mbam et Kim où un front pionnier est apparu dans les années 1980, les cacaoyères seraient toutefois plus récentes (Varlet et Berry, 1997).

Figure 4 : Evolution de la production de cacao du Cameroun par bassin de production de 1960 à 1989.



Source : Varlet, 2000

⁴ Depuis les années 1990, l'arrêt de la diffusion de statistiques régionalisées, consécutif au processus de libéralisation de la filière cacao, ne permet plus de disposer de données susceptibles de confirmer cette évolution.

Les cacaoyères du Centre-Sud seraient généralement menées sous un ombrage important constitué d'arbres forestiers et d'arbres fruitiers. Globalement, les itinéraires techniques seraient extensifs, caractérisés par des désherbages réduits, une absence de taille et de réglage de l'ombrage (Losch et al., 1991). L'utilisation des fongicides serait faible et la lutte contre les mirides rarement mise en œuvre sauf dans les départements de la Léké et du Mbam et Kim où certains agriculteurs, regroupés au sein d'organisations de producteurs, réaliseraient une protection phytosanitaire semi-intensive de leurs cacaoyères. Les rendements en cacao marchand du Centre-Sud seraient donc moins élevés qu'au Sud-Ouest : entre 100 et 250 kg ha⁻¹ dans le Nyong et So'o, et entre 250 et 500 kg ha⁻¹ dans la Léké et le Mbam et Kim (Varlet et Berry, 1997). La faiblesse globale de ces rendements serait attribuée à la sénescence des vergers cacaoyers qui ne serait pas compensée par la création, localement, de nouvelles cacaoyères et par la régénération des plantations âgées.

3.2. Le déclin des cacaoyères du Centre-Sud : un mythe ?

Le dynamisme du bassin de production du Sud-Ouest par rapport à celui du Centre-Sud, confirmerait donc la théorie selon laquelle, face à la dégradation des conditions de production dans les vergers cacaoyers âgés, le développement de la cacaoculture camerounaise serait principalement basé sur leur abandon et l'installation d'autres parcelles après une défriche forestière par l'ouverture de nouveaux fronts pionniers. La principale conséquence de l'essoufflement de la dynamique cacaoyère au Centre-Sud du Cameroun serait alors une remise en cause de la pérennité des exploitations agricoles en raison des performances agro-économiques de plus en plus faibles des systèmes de culture anciens à base de cacaoyer.

D'autres observations réalisées par d'autres scientifiques révéleraient cependant une évolution différente.

Tout d'abord, la plupart des cacaoyères anciennes du Centre-Sud seraient toujours exploitées et demeurerait le socle de nombreuses exploitations où la cacaoculture représente 60 % de l'assolement (Weber, 1977 ; Santoir, 1992). Il en serait de même en ce qui concerne le revenu des ménages : une enquête réalisée en 1954 montre que 70 % des recettes monétaires des agriculteurs proviennent de la vente du cacao (Binet, 1956). Trente ans plus tard, la vente de cacao représente encore 50 à 75 % du budget de plus de 90 % des ménages (Leplaideur, 1985). Cela tendrait donc à démontrer que le vieillissement et le déclin des vergers cacaoyers n'est pas un processus inéluctable, en particulier en l'absence de réserves forestières (cas de la Léké) ou de front pionnier forestier (cas du Nyong et So'o). De 1960 à 1989, la production du Centre-Sud est en effet demeurée stable (figure 4) et dans la Léké, où la pression foncière est forte, la production annuelle de cacao marchand se maintient autour de 20 000 tonnes (Losch et al., 1992). Ensuite, des pratiques de redensification des cacaoyères âgées, que l'on pensait inexistantes, sont mentionnées par Santoir (1992) et par Janin (1999) mais sans être quantifiées. Enfin, plus surprenant, la cacaoculture gagnerait des zones *a priori* moins favorables à son développement d'un point de vue pédoclimatique, comme la zone de transition forêt-savane, située au nord du Centre-Sud (Mbam et Inoubou), où une partie du verger cacaoyer est établi sur savane, zone considérée comme sub-optimale pour la cacaoculture (Champaud, 1966).

Encadré 1 : Synthèse des principales hypothèses relatives à chaque chapitre/question de recherche.

1 : Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer mis au point par les agriculteurs constituent des systèmes durables aux plans agro-écologique et socio-économique.

Les cacaoyères agroforestières sont anciennes et leur conduite technique permet aux agriculteurs de maintenir sur un pas de temps long une production de cacao marchand, peut-être peu élevée, mais stable, sans apport d'engrais. La conduite de ces systèmes se traduit notamment par un agencement spatio-temporel de plusieurs espèces forestières et fruitières associées à plusieurs générations de cacaoyers et par des pratiques de réhabilitation continue des cacaoyères qui permettent aux exploitations de se maintenir et de se reproduire et ce, quel que soit le contexte pédo-climatique.

2 : Les systèmes agroforestiers mis au point par les agriculteurs permettent la culture durable du cacaoyer dans des zones sub-optimales pour la cacaoculture.

Dans la zone de transition forêt-savane située au nord du Centre-Sud du Cameroun, la combinaison et la gestion avec les cacaoyers d'espèces forestières et fruitières permettent aux agriculteurs de contourner les différentes contraintes, d'ordre pédo-climatiques ou autre, auxquelles ils sont confrontés pour mettre en place, sur savane, des peuplements cacaoyers performants en termes de production de cacao marchand.

3 : Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer sont des systèmes plurifonctionnels dont le peuplement cacaoyer est la composante principale en termes de valeur d'usage.

La combinaison avec les cacaoyers d'un grand nombre d'espèces forestières et fruitières répond en grande partie aux différents besoins des ménages agricoles. La valeur d'usage que les agriculteurs attribuent à ces différentes espèces varie toutefois selon les zones et les espèces, le cacaoyer étant l'espèce dont la valeur d'usage est la plus élevée.

4 : La performance du peuplement cacaoyer dans un système agroforestier, en termes de cacao marchand, est étroitement liée à la structure du peuplement cacaoyer et à celle des peuplements associés.

L'étude de la structure des cacaoyères agroforestières permet, à partir de l'analyse des composantes du rendement du cacaoyer, d'identifier les pratiques culturelles responsables des variations de rendement observées à l'échelle du bassin de production. De part le caractère pérenne des espèces en association, certaines modalités d'implantation des peuplements cacaoyers et des peuplements associés et certaines pratiques culturelles en phase adulte aboutissent à des structures de cacaoyères différentes qui peuvent déterminer des limites de production. Ces différentes structures sont également liées à des déterminants agro-écologiques.

5 : La structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, liée au caractère pérenne des cacaoyers et des espèces en association, est flexible.

La flexibilité des cacaoyères agroforestières peut se traduire par des trajectoires d'états structuraux liés à des variations des modes de conduite et d'exploitation dans le temps. Ces variations peuvent correspondre aux changements d'objectifs de l'agriculteur au cours de sa vie, au transfert des cacaoyères d'une génération à l'autre étant donné les pas de temps concernés, ou aux adaptations à des changements de contexte.

4. Problématique agronomique, hypothèses et questions de recherche

4.1. Problématique agronomique

L'existence, au Centre-Sud du Cameroun, de cacaoyères agroforestières anciennes et toujours actives nous incite à penser qu'un modèle de cacaoculture, différent du modèle technique recommandé par la recherche agronomique, existe. Mis au point par les agriculteurs selon des logiques différentes de celles des scientifiques, ce modèle a été cependant peu étudié en raison de la faiblesse de ses rendements en cacao marchand.

La cacaoculture du Centre-Sud du Cameroun reposerait sur un système agroforestier complexe, tel que défini par Torquebiau (2000)⁵, qui va à l'encontre du modèle technique mis au point par la recherche agronomique. En effet, d'après Duguma et al. (2001), après une défriche forestière partielle où ils préservent de nombreux arbres forestiers pour leur valeur économique et pour assurer un ombrage léger aux jeunes cacaoyers, les agriculteurs introduisent dans le système d'autres espèces pérennes qui se développent ensuite en association avec le cacaoyer et les arbres forestiers conservés à l'origine. Le cacaoyer constituerait de ce fait, à l'instar d'autres systèmes agroforestiers, une plante dans un peuplement aux interactions et aux rôles multiples (Kumar et Nair, 2004 ; Bidzanga, 2005).

Le décalage qui existe entre la cacaoculture telle qu'elle est habituellement décrite et ce qui est observé par certains au Centre-Sud du Cameroun nous amène à nous interroger sur le fonctionnement et les conditions du maintien sur le temps long du système agroforestier à base de cacaoyer mis au point par les agriculteurs de cette région. Par ailleurs, la faiblesse des rendements en cacao marchand des cacaoyères agroforestières anciennes du Centre-Sud du Cameroun suggère qu'il existe une marge de progression importante.

Notre objectif est donc de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer anciens observés au Centre-Sud du Cameroun, leurs évolutions et leurs déterminants, ainsi que les conditions de leur production en cacao marchand.

4.2. Questions de recherche, hypothèses et démarche de travail

Notre thèse a pour objet d'étude les systèmes de culture agroforestiers à base de cacaoyer du Centre-Sud Cameroun et leur trajectoire de conduite technique dans le temps. Elle est centrée sur le fonctionnement agronomique, la gestion et la dynamique au cours du temps de ces systèmes plurispécifiques à base de plantes pérennes, dont le cacaoyer est la composante principale.

Notre travail s'articule autour de cinq questions de recherche qui le structurent.

Les hypothèses testées dans chacune des parties sont synthétisées dans l'encadré 1.

⁵ Pour cet auteur, les agroforêts « *concernent les associations agroforestières dans lesquelles les arbres constituent un ensemble dense, multi-étagé, souvent diversifié, associé à des cultures de sous-bois et souvent à de l'élevage.* »

4.2.1. La durabilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer

Il est communément admis qu'en l'absence de fertilisation minérale un peuplement cacaoyer conduit sans ombrage doit être réhabilité après 20 à 30 ans d'exploitation en raison du déclin biologique des cacaoyers et de l'épuisement de la fertilité du sol (Jolly, 1955 ; Lanfranchi, 1971 ; Montgomery, 1981), témoignant ainsi de l'absence de durabilité du modèle technique proposé aux agriculteurs. Dans le même temps, peu d'informations sont disponibles sur la durabilité des peuplements cacaoyers au sein des systèmes agroforestiers qui ont été peu étudiés en raison de la faiblesse de leurs rendements en cacao marchand. La plupart des analyses récentes sur les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer portent majoritairement sur l'impact environnemental de ces systèmes complexes, en termes de conservation de la biodiversité, de maintien de la fertilité des sols et de séquestration du carbone (Rice et Greenberg, 2000 ; Schroth et Harvey, 2007 ; Dawoe et al., 2010 ; Anglaare et al., 2010 ; Gockowski et Sonwa, 2010). Dans le cas des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer du Centre-Sud du Cameroun, il s'agit le plus souvent de travaux descriptifs portant sur le degré d'agrobiodiversité de ces systèmes à travers des inventaires des espèces associées aux cacaoyers et de leurs usages (Zapfack et al., 2002 ; Sonwa et al., 2007), sur la fertilité des sols (Snoeck et al., 2010) ou sur le lien entre la structure de ces systèmes et leur niveau d'intensification (Bisseleua et Vidal, 2008). De plus, malgré tout leur intérêt, ces analyses ne distinguent pas le peuplement cacaoyer des autres composantes de ces systèmes. Ces éléments nous amènent à poser la question de recherche suivante :

Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer mis au point par les agriculteurs du Centre-Sud du Cameroun constituent-ils des systèmes durables aux plans agro-écologique et socio-économique ?

Pour répondre à cette question, nous répondrons aux sous-questions suivantes :

- Les anciennes cacaoyères agroforestières sont-elles vraiment toujours gérées et exploitées ?
- Comment se caractérisent-elles ? Quel est le niveau d'utilisation en intrants des agriculteurs ?
- Quel est le niveau de biodiversité de ces anciennes cacaoyères agroforestières ?
- Quelle est la place de ces cacaoyères agroforestières dans l'assolement des exploitations et dans le revenu des agriculteurs ?
- Quelles sont les pratiques qui permettent aux agriculteurs de maintenir sur un pas de temps long une production de cacao marchand et à quel niveau ?

Ce travail fait l'objet du premier chapitre et correspond à un article publié dans la revue *Agroforestry Systems* intitulé : « *Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon* ».

4.2.2. L'extension des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer aux zones sub-optimales de savane

Il est communément admis que les zones de savane ne conviennent pas à la cacaoculture en raison des conditions écologiques et pédo-climatiques qui les caractérisent : rareté des terres forestières, présence d'*Imperata cylindrica*, pluviométrie inférieure aux exigences du cacaoyer et inégalement répartie, médiocre qualité des sols notamment en termes de matière organique (Braudeau, 1969 ; Wood and Lass, 1985). C'est le cas de la zone de transition forêt-savane, située au nord du bassin de production du Centre-Sud du Cameroun, qui est considérée par les agronomes comme sub-optimale pour la cacaoculture (Champaud, 1966).

Pourtant, depuis plusieurs décennies, on assiste dans cette région à un développement de la cacaoculture basé sur l'installation de cacaoyères sur des savanes à *Imperata cylindrica* à partir d'un modèle agroforestier reconstitué. Cette dynamique constitue une innovation significative par rapport au schéma classique de développement de la cacaoculture où les cacaoyères sont installées après une défriche forestière. Elle demeure cependant peu documentée car les rares cas d'afforestation volontaire des zones de savane qui ont été décrits au Togo (Guelly et al., 1993) en Côte d'Ivoire (Blanc-Pamard et Peltre, 1984) et en Guinée (Fairhead et Leach, 1996) concernent l'installation de systèmes agroforestiers à base de *Coffea canephora* variété Robusta, espèce qui, contrairement au cacaoyer, peut s'adapter aux conditions pédoclimatiques de savane.

L'absence d'éléments sur le fonctionnement du système agroforestier à base de cacaoyer installé sur savane au Centre-Sud du Cameroun nous amène à formuler la question de recherche suivante :

Quel est le modèle technique mis au point par les agriculteurs pour mettre en place des peuplements cacaoyers dans un milieu écologique peu adapté ?

Pour y répondre, nous répondrons aux sous-questions suivantes :

- Quelles sont les modalités de contrôle d'*Imperata cylindrica* lors de la phase d'installation des cacaoyères ?
- Comment sont gérés, au cours du temps, les peuplements cacaoyers et les différents peuplements associés ?
- Quel est le rendement en cacao marchand des cacaoyères installées en savane et comment évolue-t-il au cours du temps ?
- Comment évoluent le niveau d'agrobiodiversité des cacaoyères en savane et la fertilité organique de leurs sols sur le temps long ?

Ce travail fait l'objet du second chapitre et correspond à un article soumis à la revue *Agronomy for Sustainable Development* intitulé : « *Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farm innovation in central Cameroon* ».

4.2.3. La plurifonctionnalité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer

Plusieurs travaux de recherche récents ont permis d'identifier les espèces présentes dans les cacaoyères agroforestières du Centre-Sud du Cameroun (Zapfack et al., 2002 ; Sonwa et al., 2007). Les usages des espèces les plus fréquemment rencontrées ont été également renseignés et nombreuses sont les espèces qui, tout en fournissant un ombrage aux cacaoyers, procurent aux agriculteurs une multitude de produits (fruits, bois, feuilles, écorces, etc.), commercialisés ou non, qui interviennent dans l'autosuffisance et l'équilibre alimentaire des ménages, la pharmacopée, la construction des habitations et la trésorerie des exploitations agricoles (Duguma et al. 2001; Zapfack et al., 2002 ; Sonwa et al., 2007). Malgré leur intérêt, ces analyses ne permettent pas une évaluation globale des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et apportent peu d'informations sur la place et le rôle de chacune des espèces présentes. Il est vrai que les systèmes agroforestiers demeurent difficiles à évaluer en raison des problèmes méthodologiques que pose l'évaluation des espèces qui les composent dont les usages, la nature des produits récoltés ou des services rendus, et les cycles de développement sont différents (Nair, 1993 ; Huxley, 1999). Dans certains cas, certaines espèces ont plusieurs usages, dont certains, d'ordre écologique notamment, sont difficilement quantifiables et posent la question de l'unité commune à retenir (Huxley, 1999). Ces éléments nous amènent à formuler la question de recherche suivante :

Quelle est la valeur d'usage accordée par les agriculteurs aux différentes espèces qui constituent les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ?

Pour y répondre, nous poserons les sous-questions suivantes :

- Quels sont les usages des espèces présentes dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ?
- Quelle est leur valeur d'usage ?
- Cette valeur d'usage des espèces varie-t-elle selon les zones ?
- Existe-t-il un lien entre la valeur d'usage des espèces et leur fréquence d'apparition dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ?

Ce travail fait l'objet du troisième chapitre et correspond à un article soumis à la revue *Biodiversity and Conservation* intitulé : « *Farmers' assessment of the use of agrobiodiversity in plurispecific systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon* ».

4.2.4. L'origine des variations de rendement en cacao marchand dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer

Il n'existe pas à notre connaissance de travaux de recherche portant sur le fonctionnement des peuplements cacaoyers conduits spécifiquement dans des systèmes agroforestiers complexes. La quasi-totalité des références techniques disponibles sur la culture du cacaoyer a en effet été établie à partir de travaux conduits principalement dans des stations de recherche, dans les années 1950-1980.

Compte tenu du contexte de cette période, toutes ces références techniques visent à optimiser la productivité des cacaoyers dans des systèmes peu diversifiés (Braudeau, 1969 ; Enriquez, 1985 ; Wood et Lass, 1985 ; Willson, 1999). Il est par conséquent difficile d'identifier avec certitude les facteurs susceptibles d'expliquer la faiblesse globale des rendements en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et de proposer aux agriculteurs des améliorations techniques.

Dans le même temps, le fait que les conditions pédo-climatiques du Centre-Sud du Cameroun correspondent globalement aux exigences écologiques du cacaoyer (Champaud, 1966) suggère que la faiblesse globale des rendements en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer pourrait être liée à la structure même du système (densité du peuplement cacaoyer et des peuplements associés, types d'espèces associées, etc). Cette hypothèse nous amène à poser la question de recherche suivante :

Le rendement en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est-il lié à la structure de ces systèmes ?

Pour y répondre, nous répondrons aux sous-questions suivantes :

- Comment se caractérise la structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ? Comment évolue-t-elle dans le temps et existe-t-il des différences régionales ?
- Comment les variables de structure impactent-elles la productivité du cacaoyer dans un système agroforestier ?
- Quelles sont les pratiques des agriculteurs à l'origine des variations de structures observées ?

Ce travail fait l'objet du quatrième chapitre et fera l'objet d'un article intitulé « *Agronomic regional diagnosis of complex agroforestry systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon* » que nous soumettrons, après la thèse, à la revue *Agronomy for Sustainable Development*.

4.2.5. La flexibilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer

Après avoir identifié les variables de structure qui permettent aux agriculteurs d'obtenir les meilleurs rendements en cacao marchand, il s'agit pour nous d'analyser les marges de manœuvre techniques dont ils disposent pour faire évoluer leurs systèmes agroforestiers sans avoir à installer de nouveaux peuplements cacaoyers. Certains travaux de recherche montrent que la capacité d'adaptation des cacaoyers face à la diminution de la densité du peuplement, provoquée par la mortalité naturelle des arbres, se traduit par un maintien du rendement en cacao marchand (Bastide et al., 2008). D'autres travaux conduits en station de recherche font état d'un accroissement significatif du rendement de peuplements cacaoyers après éclaircies (Lachenaud et Oliver, 1998). Malgré leur intérêt, ces différentes études apportent peu d'informations sur l'évolution d'un peuplement cacaoyer agroforestier en fonction de son histoire culturelle et à notre connaissance, il n'existe pas d'études sur la flexibilité de la structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer.

Dans le même temps, des travaux de recherche conduits au Vanuatu ont permis de reconstituer la dynamique temporelle de systèmes agroforestiers à base de cocotier à partir de l'étude de la diversité des situations existantes, en termes de structure de végétation, et du passé cultural des parcelles (Lamanda et al., 2004 ; Lamanda, 2005).

Ces différents éléments nous amènent à poser la question de recherche suivante :

La structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est-elle flexible ?

Pour y répondre, nous formulerons les sous-questions suivantes :

- Quelles sont les évolutions des pratiques de conduite des cacaoyères agroforestières au cours du temps ?
- Quels en sont les déterminants ?
- Quel est l'impact de ces évolutions de conduite sur l'évolution des états structuraux et sur les structures actuelles des cacaoyères ?
- Les performances actuelles des cacaoyères agroforestières, en termes de rendement en cacao marchand, sont-elles le résultat de trajectoires de structures et de conduites différentes ?

Ce travail fait l'objet du cinquième chapitre et fera l'objet d'un article qui sera soumis, après la thèse, à la revue *Ecology and Society*.

Méthodologie

1. Méthodologie

Pour traiter les cinq hypothèses que nous avons formulées, nous proposons de travailler en deux étapes successives et complémentaires.

La première étape visera à réaliser une analyse exploratoire des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer dans l'objectif de caractériser et de vérifier leur durabilité agro-écologique et socio-économique (hypothèse 1) puis à analyser la conduite des cacaoyères agroforestières installées sur savane (hypothèse 2). Cette première étape reposera sur des enquêtes d'agriculteurs à grande échelle, conduites aux deux niveaux d'organisation de l'exploitation et de la cacaoyère agroforestière. Les résultats de ces enquêtes seront complétés par des observations spécifiques réalisées à l'échelle de la parcelle, dans des sous-échantillons de taille variable.

La seconde étape visera dans un premier temps à évaluer la place du cacaoyer dans les systèmes agroforestiers en mobilisant une méthode d'évaluation de l'importance relative des espèces (Sheil et al., 2004) (hypothèse 3). Dans un second temps, il s'agira d'évaluer la production des peuplements cacaoyers en mobilisant la méthode du diagnostic agronomique régional (Doré et al., 1997 ; 2008) (hypothèse 4). Enfin, dans un troisième temps, il s'agira d'identifier, à partir de l'histoire culturelle des cacaoyères, les principales trajectoires d'évolution des pratiques et des états structuraux des cacaoyères. Nous analyserons ensuite l'impact de ces trajectoires sur la situation culturelle actuelle des cacaoyères et sur leur niveau de production (hypothèse 5). Cette seconde étape sera, contrairement à la précédente, basée sur un échantillon restreint de cacaoyères d'agriculteurs où seront réalisées des observations, et sur un échantillon réduit d'agriculteurs qui feront l'objet d'enquêtes approfondies.

Les deux étapes de notre analyse des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer seront conduites sur un dispositif régional mis en place dans trois zones de cacaoculture différenciables par leurs conditions pédo-climatiques et leur contexte humain. Notre approche combinera deux échelles d'analyse : l'exploitation agricole (analyse des pratiques à différents niveaux) et la parcelle (caractérisation et évaluation du système de culture).

Nous adopterons une approche synchronique pour évaluer la place des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer dans l'assolement des exploitations et le revenu des agriculteurs, puis évaluer globalement ces systèmes et la part relative du cacaoyer, et enfin analyser le fonctionnement de leur composante biophysique à un temps *t*.

Nous adopterons une approche diachronique pour identifier d'une part, les évolutions des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer au cours du temps en présentant certains résultats par classes d'âge des cacaoyères et d'autre part, les trajectoires d'évolution des pratiques et leurs déterminants agro-écologiques et socio-économiques, en particulier à travers la construction de trajectoires de conduite et d'états structuraux de cacaoyères.

2. Dispositif de recherche

Le bassin de production de cacao du Centre-Sud du Cameroun correspond au plateau sud-camerounais, dont l'altitude oscille entre 650 et 900 m. Ce plateau est entaillé à l'ouest par la Sanaga et le Nyong, les deux principaux fleuves du pays (Santoir et Bopda, 1995).

Le climat est caractérisé par un régime pluviométrique bimodal avec une petite saison des pluies de mars à juin et une grande saison pluvieuse d'août à novembre. La zone forestière, située au sud du parallèle 4°30', présente une accentuation des caractéristiques de la zone côtière comprise entre le rivage et le bord du plateau sud-camerounais. La pluviosité y est moins forte : 1 500 mm pour 2 000 à 3 000 mm par an le long de la côte, et la saison sèche de décembre à février est mieux marquée et plus longue (Champaud, 1966 ; Santoir et Bopda, 1995).

La pédologie est dominée par des sols ferrallitiques tropicaux, jaunes à l'ouest et rouges à l'est, qui se dégradent rapidement en l'absence de couvert forestier. Ces types de sols sont caractérisés par une faible teneur en matière organique et en limon, une teneur en argile variable (40 à 65 %) et un pH acide (4,5 à 5,5) (Santoir, 1992). Un gradient pédo-climatique est observé du nord au sud. Dans la zone de transition forêt-savane, les sols sont moins désaturés que ceux de la zone forestière et la pluviométrie y est également plus faible : 1 300-1 400 mm contre 1 700-1 800 mm (Santoir et Bopda, 1995). Ce gradient nord-sud transparaît également au niveau de la végétation (Santoir, 1992). Au nord de la Sanaga (Mbam et Inoubou) la savane est la végétation dominante et résulte le plus souvent de la transformation locale du couvert forestier par les défrichements. Le paysage est une mosaïque de galeries forestières situées généralement le long des cours d'eau et sur les crêtes des collines alors que les savanes herbeuses à *Pennisetum purpureum* et à *Imperata cylindrica* occupent le reste du territoire. Par contre, la zone située entre la Sanaga et le Nyong (Lékié), appartient au domaine de la forêt semi-caducifoliée de type « guineo-congolais », riche en *celtis* et en *sterculiacées*. Actuellement, cette forêt subit un processus de dégradation accentué sous l'effet des cultures qui se traduit par la présence de jachères broussailleuses, puis arbustives et enfin arborescentes qui contribuent à la réapparition de zones de végétation forestière différentes de la forêt primitive. Enfin, au sud de Yaoundé (Nyond et So'o), l'influence de la forêt congolaise est fortement ressentie et la forêt semi-caducifoliée est étroitement mélangée à la forêt humide, héli-ombrophile.

A partir des exigences écologiques du cacaoyer et des principales caractéristiques climatiques du Cameroun, Champaud (1966) a montré que la plus grande partie du Centre-Sud du Cameroun était propice à la cacaoculture. L'isohyète de 70 mm de pluies pendant les trois mois de saison sèche (décembre-janvier-février) marque la limite septentrionale de la zone favorable à la cacaoculture. La zone de transition forêt-savane située au nord de la Sanaga est ainsi considérée comme sub-optimale pour la culture du cacaoyer.

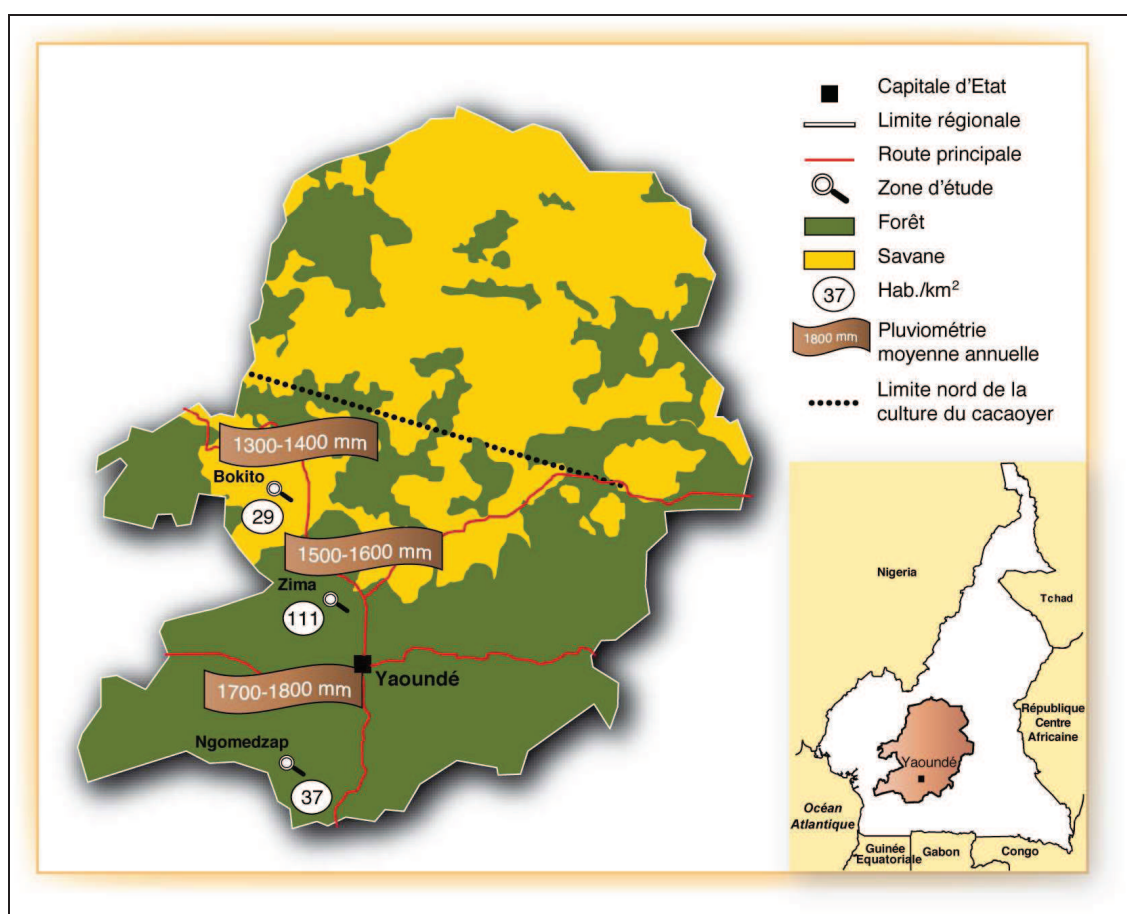
2.1. Choix des zones d'étude

De part le volume de sa production de cacao marchand (45 900 tonnes contre 20 000 tonnes pour la région Sud) et l'étendue de son verger cacaoyer (239 100 ha contre 122 100 ha pour la région du Sud) (recensement agricole de 1984), la région du Centre constitue la principale zone de cacaoculture du bassin de production du Centre-Sud du Cameroun.

Nos travaux de recherche ont été conduits sur un dispositif spécifique mis en place dans cette région, en prenant en compte la diversité de milieux qui la caractérise (Santoir et Bopda, 1995). Trois zones de cacaoculture, différenciables par leur densité de population⁶ et leurs conditions de milieu ont été identifiées (figure 1). Du nord au sud de la région du Centre, notre dispositif global comprend les zones de :

- Bokito (département du Mbam et Inoubou), zone péri-forestière où la densité de population est de 29 hab./km². Cette zone est caractérisée par une mosaïque de galeries forestières et de savanes herbacée à *Pennisetum purpureum* et à *Imperata cylindrica* sur des sols faiblement désaturés rajeunis ;
- Zima (département de la Léké), zone forestière fortement anthropisée où la densité de population est supérieure à 100 hab./km². La végétation y est influencée par les défrichements et les cultures arbustives et les sols dominants sont ferrallitiques moyennement désaturés ;
- Ngomedzap (département du Nyong et So'o), zone forestière où la densité de population est de 37 hab./km². Cette zone est caractérisée par une végétation dominée par la forêt dense sempervirente et des sols ferrallitiques fortement désaturés.

Figure 1 : Localisation de la région du Centre et des zones d'étude.



⁶ D'après Weber (1977) : « Au dessus de 30 habitants/km², la terre peut-être considérée comme totalement appropriée. [...] De façon globale, dans la Léké, l'indice d'utilisation du sol est voisin de 120 %, ce qui signifie que les sols sont utilisés au-delà de leur capacité de reconstitution. La raréfaction des terres et l'épuisement des sols vont de pair ».

Dans ces trois zones, la cacaoculture est exclusivement pratiquée par des populations autochtones appartenant aux groupes ethniques Yambassa (Bokito), Eton (Zima) et Ewondo (Ngomedzap).

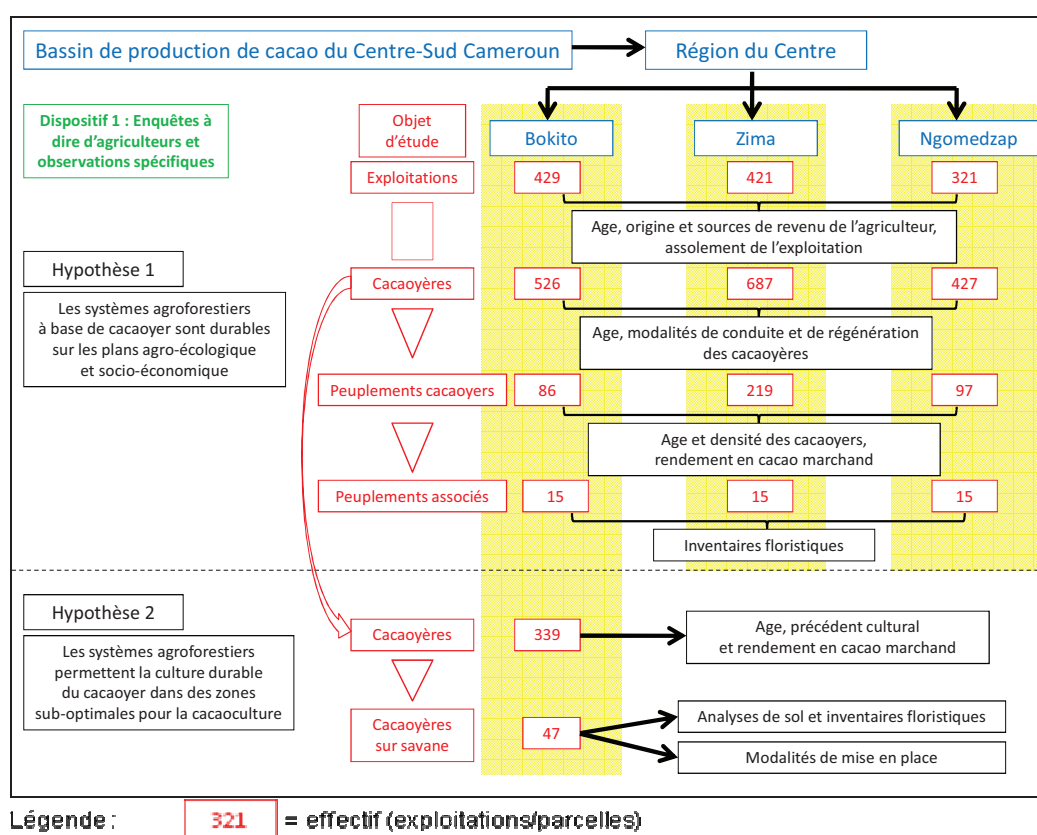
2.2. Dispositif de recherche

Notre démarche repose sur deux dispositifs différents qui font intervenir plusieurs échantillons qui s'emboîtent les uns dans les autres en fonction des objectifs poursuivis.

2.2.1. Dispositif 1

Afin de vérifier la durabilité agro-écologique et socio-économique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer (hypothèse 1), nous avons conduit une enquête auprès de 1 171 agriculteurs regroupant 1 638 cacaoyères (figure 2). Au niveau des exploitations, les données collectées ont porté sur l'âge des agriculteurs, l'assolement des exploitations et les sources de revenu des agriculteurs. Au niveau des cacaoyères, les données collectées ont porté sur l'âge des parcelles, les modalités de conduite technique et les modalités de réhabilitation des peuplements cacaoyers. Nous avons estimé l'âge des cacaoyers, leur densité et leur rendement en cacao marchand sur un sous-échantillon de 402 cacaoyères. Un échantillon de 45 cacaoyères, à raison de 15 par zone d'étude, a été constitué pour réaliser des inventaires floristiques et estimer le niveau d'agrobiodiversité des cacaoyères.

Figure 2 : Structure du dispositif de recherche mis en place pour vérifier les hypothèses 1 et 2.

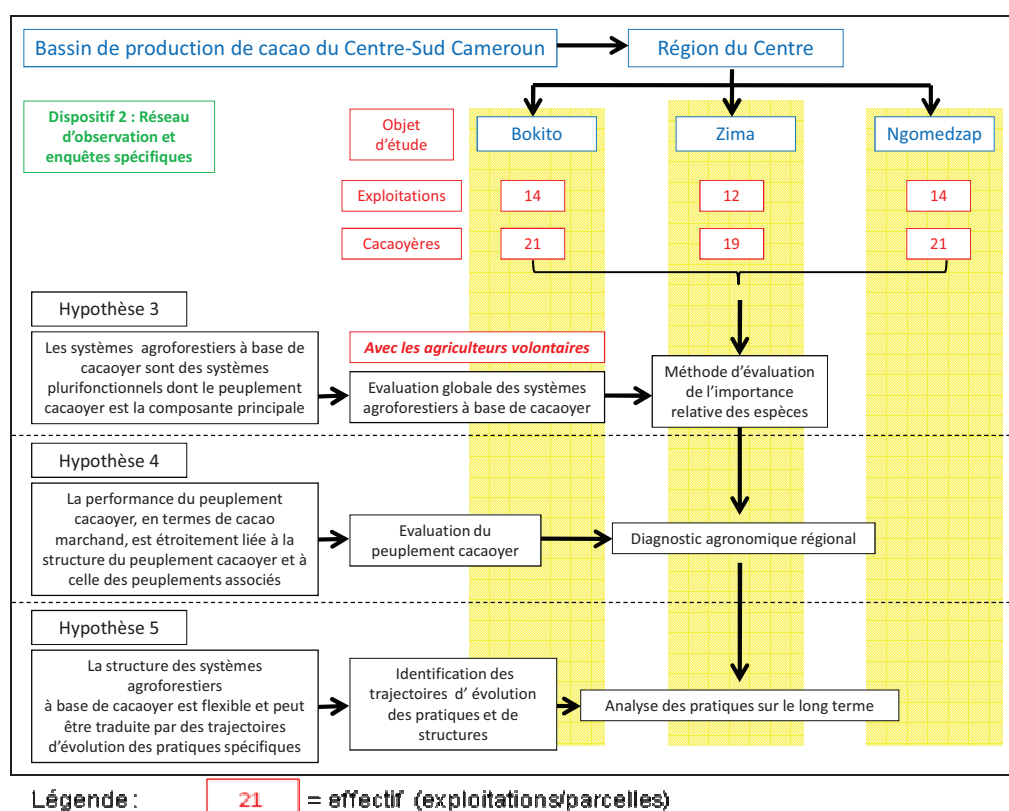


Les données issues des enquêtes d'agriculteurs réalisées dans la zone de transition forêt-savane ont fait l'objet d'une autre analyse afin de tester l'hypothèse 2. Cette nouvelle analyse nous a permis de vérifier l'ancienneté des précédents de végétation « *savane* » et de comparer leur rendement en cacao marchand sur le temps long au précédent de végétation « *forêt-galerie* ». Un échantillon réduit de 47 cacaoyères sur savane a été ensuite constitué pour réaliser des inventaires floristiques et effectuer des analyses de sol. L'évolution du niveau d'agrobiodiversité des cacaoyères et celle de la teneur en matière organique des sols ont fait l'objet d'une analyse diachronique.

2.2.2. Dispositif 2

A partir du dispositif 1, un réseau d'observation a été installé en 2007 dans des parcelles d'agriculteurs afin de disposer d'une part, d'une gamme de cacaoyères représentatives des différents stades d'évolution des peuplements cacaoyers au cours du temps, par variation de l'ancienneté des créations (chronoséquences), et d'autre part, d'une diversité d'agriculteurs d'âge différent situés à des étapes différentes de leur cycle de vie et représentant ainsi une diversité de situations agricoles, allant du démarrage de l'activité agricole à la préparation de la succession (figure 3).

Figure 3 : Structure du dispositif de recherche mis en place pour vérifier les hypothèses 3, 4 et 5.



Ce réseau d'observation a regroupé au total 61 cacaoyères réparties en quatre classes d'âge (tableau 1), appartenant à 40 agriculteurs (tableau 2), plusieurs cacaoyères d'âge différent pouvant être exploitées par un même agriculteur.

Tableau 1 : Effectif des cacaoyères agroforestières par classe d'âge et par zone.

Zones d'étude	Classes d'âge des cacaoyères				Total
	< 10 ans	10-20 ans	21-40 ans	> 40 ans	
Bokito	3	7	4	7	21
Zima	4	4	4	7	19
Ngomedzap	3	5	8	5	21
Total	10	16	16	19	61

Tableau 2 : Effectif des agriculteurs par classe d'âge et par zone.

Zones d'étude	Classes d'âge des cacaoyères				Total
	< 40 ans	40-50 ans	51-60 ans	> 60 ans	
Bokito	2	8	2	2	14
Zima	3	4	3	2	12
Ngomedzap	2	3	6	3	14
Total	7	15	11	7	40

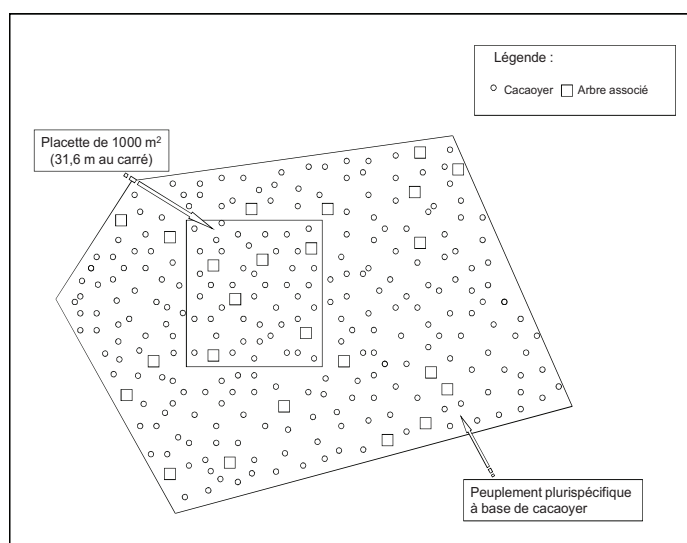
Les critères de choix des cacaoyères et des agriculteurs ont été les suivants :

- Appartenir à des agriculteurs disposant d'une ou de plusieurs cacaoyères et volontaires pour s'impliquer dans les travaux de recherche ;
- Etre situées à moins de 30 minutes de marche pour demeurer accessibles et éviter une dispersion du dispositif de recherche ;
- Etre exploitées par les agriculteurs, c'est-à-dire non définitivement abandonnées et récoltées ;
- Ne pas être l'objet de litiges entre plusieurs agriculteurs et ne pas être marquées par un accident de parcours majeur, comme la chute d'un arbre par exemple.

Dans chaque cacaoyère, une placette de 1 000 m², représentative du peuplement cacaoyer, en termes de gestion technique, a été positionnée afin de disposer d'un échantillon réduit de cacaoyers et d'arbres associés susceptibles d'être observés (figure 4) (annexes : planche photos 3). Dans le même temps, des enquêtes spécifiques ont été conduites auprès des agriculteurs qui les gèrent actuellement.

A partir de ce réseau d'observation, nous avons tout d'abord vérifié la plurifonctionnalité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et évalué la place du cacaoyer dans ces systèmes (hypothèse 3) à partir de l'importance relative attribuée par les agriculteurs aux différentes espèces en association. Puis, nous avons évalué les performances du peuplement cacaoyer afin d'identifier quelles sont les variables de structure à l'origine des variations de rendement en cacao marchand (hypothèse 4) en mobilisant la méthode du diagnostic agronomique régional (Doré et al., 1997 ; 2008). Enfin, nous avons vérifié la flexibilité des cacaoyères agroforestières (hypothèse 5) en analysant les pratiques des agriculteurs sur le long terme afin de mettre en évidence les trajectoires d'évolution des pratiques et leurs déterminants, et de relier ces trajectoires aux situations culturelles actuelles des cacaoyères agroforestières.

Figure 4 : Exemple du dispositif d'observation mis en place dans chaque cacaoyère.



La mise en œuvre de ces différentes étapes de notre travail de recherche fera l'objet d'un développement au moment où nous les traiterons.

3. Concepts utilisés

3.1. La notion de parcelle

Dans le cas particulier des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, il est nécessaire de préciser la notion de parcelle à laquelle font référence les concepts d'itinéraire technique et de système de culture.

Si la parcelle cadastrale est définie comme une « *pièce d'un seul tenant, dépendant de la même exploitation et entourée par des limites matérialisées ou simplement coutumières* », la parcelle agronomique peut au contraire être définie comme une « *pièce de terre d'un seul tenant portant, au cours du cycle cultural donné, la même culture ou la même association de cultures gérée par un seul individu ou par un groupe déterminé d'individus* » (Milleville, 1972). Cette définition fait donc référence au cycle cultural comme échelle temporelle. Or, dans le cas d'une plante pérenne comme le cacaoyer dont le cycle cultural est de plusieurs décennies, les parcelles cacaoyères font l'objet, au cours du temps, de multiples extensions qui modifient les limites de la parcelle initiale. Celle-ci devient alors un ensemble de parcelles différentes sur le plan agronomique. En outre, compte tenu de la longueur du cycle biologique du cacaoyer, le système agroforestier à base de cacaoyer peut connaître des variations importantes des modes de conduite qui impactent la structure du peuplement cacaoyer (âge, densité, architecture) et celle des peuplements associés (densité, composition floristique, âge).

Nous définirons la parcelle cacaoyère comme une pièce de terre d'un seul tenant, homogène sur le plan agronomique en termes de précédent de végétation, d'âge de création de la cacaoyère, de structure du peuplement cacaoyer et des peuplements associés à un temps t , et de son histoire culturale.

3.2. La notion de pratiques

Contrairement à d'autres espèces pérennes comme le palmier à huile, l'hévéa ou le cocotier, les caractéristiques physiologiques et morphologiques du cacaoyer permettent aux agriculteurs de modifier la structure de leur peuplement cacaoyer en le redensifiant et en recépant les cacaoyers sénescents. Les agriculteurs peuvent également intervenir sur les peuplements associés en éliminant les individus en surnombre ou au contraire en introduisant d'autres arbres dans la parcelle. Outre les modalités de mise en place des peuplements cacaoyers et des peuplements associés, qui ont un impact à long terme sur la structure de ces deux types de peuplements, nous nous intéresserons donc aussi aux modalités de gestion de ces deux types de peuplements au cours du temps qui ont un impact à moyen et long terme sur la structure du système.

En cacaoculture, on peut en effet distinguer :

- les pratiques d'implantation (mise en place des cacaoyers et des espèces associées) qui ont un impact à long terme sur le système ;
- les pratiques de régénération (redensification des peuplements cacaoyers, taille de régénération des cacaoyers, réglage de l'ombrage des cacaoyères par l'introduction ou l'élimination d'arbres dans la parcelle) qui sont récurrentes, réalisées annuellement à l'échelle des individus (peuplement cacaoyer et peuplements associés) avec un impact à moyen et long terme sur le système ;
- les pratiques d'entretien (entretien du sol, égourmandage, traitements phytosanitaires contre la pourriture brune et contre les mirides) qui sont récurrentes, réalisées annuellement mais sur l'ensemble de la parcelle, et dont certaines (lutte contre la pourriture brune) ont un impact à court terme sur le système.

A partir de ces différents éléments, nous considérerons la structure d'un système agroforestier à base de cacaoyer comme la résultante des deux premiers types de pratiques dont les effets se cumulent au cours du temps et qui jouent sur l'itinéraire technique annuel. Par exemple, le maintien dans la cacaoyère d'un grand nombre d'arbres associés peut induire un niveau d'ombrage propice à la pourriture brune des cabosses et amener l'agriculteur à traiter plus fréquemment ses cacaoyers contre cette maladie. L'élimination d'arbres en surnombre peut au contraire provoquer dans la cacaoyère l'apparition de zones ensoleillées favorisant l'enherbement du sol et les attaques de mirides et amener l'agriculteur à désherber plus fréquemment sa parcelle et augmenter le nombre de traitements anti-mirides.

L'étude des pratiques n'a par ailleurs de sens que si elle est resituée dans le fonctionnement global de l'exploitation agricole car chaque pratique a une histoire (Landais et Deffontaines, 1990). Les pratiques résultent en effet d'un processus décisionnel qui prend en compte les contraintes, le projet de l'agriculteur, mais également son apprentissage technique (Aubry et al., 1998). Ce dernier intègre la connaissance des effets et des conséquences des pratiques sur la culture ou la succession de cultures considérées (rendement, état sanitaire, etc.). Les contraintes auxquelles doit faire face l'agriculteur sont, quant à elles, de plusieurs types : les processus de production sont soumis aux aléas biologiques et climatologiques et sont donc peu contrôlables ; le rythme de production est donné par celui des saisons, par les cycles du matériel vivant utilisé ; les dates et les conditions d'intervention sont donc difficiles à maîtriser ; enfin, l'agriculteur centralise à lui seul plusieurs tâches (Papy, 1996).

En fonction des projets familiaux, l'agriculteur définit les stratégies et gère les différentes productions, la commercialisation, les stocks et est lui-même acteur (Papy, 1996, cité par Dounias, 1998). L'analyse du processus décisionnel en milieu agricole permet ainsi de distinguer deux grandes catégories de décisions : tactiques et stratégiques (Sebillotte et Soler, 1990 ; Papy, 1996). Les décisions d'ordre tactique ont un caractère cyclique et répétitif, comme la conduite technique des cultures qui se répète chaque année. Les décisions d'ordre stratégique concernent, quant à elles, les interventions non répétitives, à pas de temps plus large et pour lesquelles l'incertitude est forte (choix d'équipement par exemple). L'agriculteur ne peut donc « *arriver à gérer son exploitation qu'en sériant les problèmes* » (Papy, 1996). Le fonctionnement de l'exploitation, comme par exemple l'organisation du travail (Papy et al., 1990 ; Aubry, 1995), apparaît ainsi déterminant dans les choix techniques des agriculteurs : dans les exploitations du nord-Cameroun, l'organisation du travail constitue un « *nœud de fonctionnement* » dans la culture du cotonnier où l'étalement des semis s'explique en grande partie par les arbitrages réalisés en début de campagne pour l'attribution des ressources entre cultures et opérations culturelles concurrentes (Dounias, 1998).

En fonction des résultats obtenus par l'agriculteur « *la pratique en question est mise en œuvre durant une période plus ou moins longue ou abandonnée* » (Landais et Deffontaines, 1990). Toute pratique a donc une dimension temporelle qui peut être appréhendée sous plusieurs angles : d'abord « *l'instant de sa mise en œuvre* », puis « *la durée de l'activité concernée* » et « *la rémanence des effets et conséquences de cette activité* » et enfin « *la durée de la mise œuvre d'une pratique donnée, depuis son adoption jusqu'à son abandon* » (Landais et Deffontaines, 1990). Ainsi, « *l'histoire des pratiques s'inscrit dans le matériel biologique (implantation et taille des arbres ; sélection des végétaux et des animaux par exemple)* ».

Cette approche implique donc non seulement d'analyser les pratiques à l'origine des structures actuelles des cacaoyères agroforestières mais également de les appréhender sur le long terme à partir de l'histoire culturelle des parcelles. Cette approche implique aussi de recontextualiser les pratiques dans le projet et l'histoire technique de l'agriculteur, eux-mêmes resitués dans le contexte socio-économique plus global de l'exploitation.

3.3. Le système de culture

Le concept de système de culture est défini comme « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière homogène. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues* » (Sebillotte, 1975 ; 1990). L'itinéraire technique, quant à lui, est une « *combinaison logique et ordonnée des techniques mises en œuvre sur une parcelle en vue d'en obtenir une production* » (Sebillotte, 1975).

En conditions tempérées, le concept de système de culture a été souvent mobilisé pour étudier des successions de cultures annuelles en situation de grande culture (Doré et al., 1997 ; Meynard et al., 2001). Il a également été utilisé pour étudier des cultures pérennes en peuplement monospécifique comme le pêcher (Nesme et al., 2003).

Plus récemment, ce concept a aussi été mobilisé pour des travaux conduits en zone tropicale, en particulier sur le bananier (Tixier, 2004), et sur plusieurs plantes pérennes en peuplement monospécifique comme l'hévéa (Michels, 2005), le palmier à huile (Raffleau, 2008) ou en peuplements plurispécifiques complexes comme l'hévéa (Penot, 2001) ou le cocotier (Lamanda, 2005).

Nous utiliserons le concept de système de culture pour les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer en partant du principe que ce concept est pertinent pour l'analyse, sur le temps long, de situations culturelles complexes où différentes espèces pérennes sont cultivées en association. Nous adapterons cependant ce concept. Dans le cas des plantes pérennes où il n'y a pas, contrairement aux plantes annuelles, de rotation de cultures, le peuplement principal, ici le peuplement cacaoyer, est en effet mis en place pour plusieurs décennies et évolue au cours du temps dans une association de différents peuplements qui évoluent également.

Nous définirons le système de culture agroforestier à base de cacaoyer à partir de la structure du peuplement cacaoyer, de celle des peuplements associés, et de l'itinéraire technique appliqué à ces deux types de peuplements.

3.4. La notion de trajectoire

Etant donné les pas de temps long qu'implique l'étude des systèmes agroforestiers à base de plantes pérennes, nous mobiliserons la notion de trajectoire pour les analyser dans le temps. La notion de trajectoire d'évolution est apparue avec Sebillotte (1979) face à la nécessité de prendre en compte l'évolution des « *états d'un système* » au cours du temps dans le cas d'exploitations agricoles. En retraçant l'évolution d'une exploitation, on peut détecter les ruptures et les changements d'orientation, puis identifier les « *facteurs décisifs* » de cette évolution et être en mesure de comprendre les raisons qui permettent à cette exploitation d'émerger de son groupe d'origine. « *L'analyse d'exploitations, histoire et fonctionnement actuel permet alors de dégager des types, c'est-à-dire des groupes de ressemblance et de dater des divergences de trajectoires* ». Les grands types de fonctionnement des exploitations peuvent être ainsi resitués sur des trajectoires retraçant les étapes de l'évolution des exploitations dont les mécanismes sont reconstitués par enquête (Capillon, 1985 ; Aubry et al., 1989).

Pour Capillon (1993), la trajectoire s'entend comme les phases successives de l'évolution d'une exploitation. La trajectoire d'évolution d'une exploitation se décompose ainsi « *en étapes au cours desquelles le fonctionnement reste identique, et en modalités de passages d'une étape à une autre liées à des modifications des objectifs ou des moyens de production ou à des changements de contexte socio-économique* ». Ensuite, l'élaboration de typologies vise à créer des groupes d'exploitations semblables entre elles et présentant des caractéristiques communes de fonctionnement (Capillon et Sebillotte, 1980). Des types de trajectoires peuvent être alors « *extraits* » à partir de l'analyse statistique d'indicateurs préalablement identifiés, ou « *construits* » à partir de « *processus d'évolution définis par des étapes correspondant aux types de fonctionnement et de mécanismes ayant permis le passage d'un type à l'autre* ». Identifiés après avoir enquêté sur les histoires individuelles des exploitations, ces mécanismes de passage sont interprétés comme des « *facteurs décisifs en conformité avec la conception que l'on a du fonctionnement et de l'évolution de l'exploitation* » (Capillon, 1993).

Pour l'ensemble des exploitations enquêtées, des indicateurs rendant compte de la diversité des systèmes actuels et des évolutions passées peuvent constituer la base d'une classification qui devra être ensuite validée. L'analyse des trajectoires des exploitations agricoles a donné lieu à de nombreux travaux (Perrot et Landais, 1993). Elle est notamment mobilisée pour analyser la flexibilité et la capacité d'adaptation des exploitations dans le domaine de l'élevage (Moulin et al., 2008).

A l'échelle de la parcelle, la notion de trajectoire a été mobilisée par Lamanda (2005) pour la mise en évidence et la mise en cohérence de diverses situations culturelles⁷ de cocoteraies. La diversité d'âges des cocoteraies a été utilisée pour reconstituer l'enchaînement des stades de développement de cocotiers dans différents systèmes de culture. La mise en relation des différentes situations culturelles a permis de reconstituer des trajectoires de peuplements de cocotiers. La notion de trajectoire a été également mobilisée Martin (2009) pour la mise en évidence d'états de référence dans le cadre de l'évaluation de systèmes de culture par rapport au ruissellement et à l'érosion diffuse. Elle a été aussi mobilisée par Rafflegeau et al. (2010) pour reconstituer l'évolution de l'état nutritionnel de palmeraies en fonction de différentes conduites.

Nous appliquerons cette notion de trajectoire à la parcelle cacaoyère où notre analyse des pratiques sur le temps long nous conduira à construire des trajectoires de conduite en lien avec des trajectoires de structure de végétation.

4. Méthodes spécifiques d'évaluation des systèmes

4.1. L'estimation de l'importance relative des espèces

L'analyse du fonctionnement des systèmes agroforestiers complexes hétérogènes et son évaluation soulèvent deux problèmes méthodologiques.

- Comment évaluer leur productivité globale ?

Comment évaluer la productivité globale d'un système complexe quand le rendement de chaque composante est caractérisé par une forte variabilité inter-individuelle liée aux différences d'âge et aux différences d'environnement résultant elles-mêmes de l'hétérogénéité de la structure de ces systèmes ? Si l'étude de l'effet des interactions au sein de systèmes de culture plurispécifiques est avancée pour les systèmes agroforestiers simples constitués de deux ou trois composantes (Rapidel et al., 2009), le déficit de connaissances qui caractérise la majorité des espèces qui composent les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer demeure un frein à l'évaluation de leur fonctionnement. D'une part, pour juger du rendement d'une espèce en culture associée, il est nécessaire de disposer de connaissances sur son comportement en culture pure (Nair, 1993), ce qui n'est pas le cas pour la majorité des espèces inventoriées dans les cacaoyères agroforestières du Centre-Sud du Cameroun. D'autre part, les indicateurs de rendement de ces espèces ne sont pas connus, mis à part certaines espèces (agrumes, palmier à huile, etc.) qui sont des espèces à but commercial importantes économiquement.

⁷ Par situation culturelle, Lamanda et al. (2004) entendent l'état d'une parcelle à un moment donné (celui de l'observation) en définissant à la fois la structure du peuplement de cocotiers (en termes de stades de développement, variété, densité, etc.) et le type d'association végétale mise en œuvre.

Comment, dans ce cas, mobiliser certaines méthodes comme le Land equivalent ratio (Ler) (Mead et Willey, 1980) qui permet de comparer la productivité de plusieurs espèces associées sur une même parcelle à celle des mêmes espèces en culture pure ? Cette méthode, utilisée dans certains essais où le cacaoyer est associé à une, voire deux ou trois espèces pérennes (Oladokun et Egbe, 1990 ; Egbe et Adenikinju, 1990), montre vite, comme la plupart des méthodes disponibles aujourd'hui, ses limites dès qu'il s'agit d'étudier des associations plus complexes en raison des nombreuses interactions qui interviennent (Malézieux et al., 2009). Le niveau de connaissances mobilisables pour évaluer la production des différentes espèces associées aux cacaoyers est donc très variable d'une espèce à l'autre et souvent insuffisant pour estimer rapidement et efficacement l'ensemble des productions (Lamanda, 2005).

- D'autre part, quelle unité de mesure adopter pour évaluer les systèmes complexes ?

L'hétérogénéité des productions, la variabilité des cycles de production et le rythme des récoltes sont d'autres facteurs de complexification. Les espèces associées aux cacaoyers procurent en effet un grand nombre de produits (fruits divers, huile de palme, écorce, feuilles, etc.) dont certains sont consommés par le ménage, d'autres commercialisés et interviennent ainsi dans la trésorerie des exploitations (annexes : planche photos 4). Dans le même temps, certains produits interviennent dans la pharmacopée (feuilles, écorces) et d'autres servent à la construction (bois d'œuvre) (Zapfack et al., 2002 ; Sonwa et al., 2007). La nature des organes récoltés est par ailleurs différente selon les espèces considérées : fruits dans le cas du cacaoyer et des espèces fruitières, sève pour le palmier à huile, écorce ou feuilles dans le cas de certaines espèces médicinales. L'addition de ces différentes productions n'aurait donc aucune signification et aucune pertinence agronomique. Chez certaines espèces, plusieurs organes peuvent même participer à la production de la parcelle⁸. Les cycles de production varient également selon les espèces : certaines ont un cycle qui s'échelonne tout au long de l'année pendant toute la période de production, d'autres ont une production concentrée sur une période de temps plus courte bien déterminée. Par ailleurs, bien que régulière, l'importance de la production de certaines espèces comme le cacaoyer peut être sujette à des variations liées aux conditions climatiques ou à l'origine génétique (Lachenaud, 1991a).

Il est donc délicat de trouver une période optimale à laquelle mesurer l'ensemble des productions et de faire le choix d'une unité de temps commune pour l'exprimer. Le rythme des récoltes varie aussi en fonction des espèces et selon les organes récoltés, sachant que dans certains cas, la récolte peut être totale ou partielle en raison de différents facteurs comme l'évolution du prix d'achat aux agriculteurs (cacaoyer, agrumes) ou des besoins du ménage (fruitiers indigènes, produits médicinaux, bois d'œuvre). Enfin, quelle unité commune utiliser pour intégrer des fonctions de différentes natures (production, autoconsommation, rôle social, amélioration de fertilité du sol, maintien d'un ombrage pour les cacaoyers, etc.) ? Quand la fonction unique des espèces est commerciale, l'unité de mesure peut être financière (marge brute, revenu net, etc.) mais dans le cas présent, l'estimation de la valeur financière des autres fonctions de ces systèmes est plus difficile (Lamanda, 2005). Ces différents éléments rendent par conséquent extrêmement délicate toute tentative d'estimer la production globale des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer à un instant t , sur la base d'une seule variable quantitative agrégée.

⁸ C'est le cas du palmier à huile dont la pulpe des noix sert à la fabrication d'huile, les amandes concassées à la fabrication d'huile de palmiste, la sève à la fabrication de vin et les palmes à la confection de nattes pour la toiture des habitations.

A défaut de pouvoir quantifier les différentes productions issues des peuplements associés aux cacaoyers, nous avons mobilisé une méthode d'évaluation de l'importance relative. Cette méthode, dite « *Méthode de distribution des cailloux* » (Mdc), repose sur la quantification de l'importance relative en partant du principe que les populations locales sont les plus aptes à estimer ce qui est important pour elles (Sheil et al., 2004). La notion d'importance est propre à chaque individu mais cette méthode permet une estimation holistique des préférences. Ainsi, les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer peuvent être évalués à partir de la valeur relative qu'attribuent les agriculteurs aux différentes espèces en fonction de leurs usages respectifs.

La mise en œuvre de cette méthode est précisée dans le chapitre 3 de la thèse.

4.2. Le diagnostic agronomique régional et la notion de structure

L'évaluation des pratiques des agriculteurs sera réalisée en mobilisant la méthode du Diagnostic agronomique régional (Dar) qui permet de comprendre, *a posteriori*, pour une culture donnée, les variations de rendement à l'échelle d'une région en mettant en évidence les facteurs environnementaux et les techniques culturales qui ont influencé la production (Meynard et David, 1992).

Cette méthode peut être appliquée à une échelle régionale pour identifier et hiérarchiser les actes techniques responsables d'un problème agronomique (Doré et al., 1997). Elle implique de mettre en place, dans des parcelles d'agriculteurs, un réseau d'observation qui doit couvrir la diversité des combinaisons systèmes de culture et milieux représentatives de l'aire de cette culture dans la région d'étude. Ce réseau doit permettre de recueillir des données pour caractériser et évaluer l'état du milieu et l'état du peuplement végétal étudié. Le préalable à cette méthode est de réaliser une enquête mais également de disposer de données sur le fonctionnement du peuplement végétal étudié afin d'établir un schéma d'élaboration du rendement à partir duquel des hypothèses seront émises quant aux liaisons qui existent entre le rendement et les états environnementaux existants.

Compte tenu de l'absence, au Centre-Sud du Cameroun, d'un réseau d'expérimentation susceptible de fournir des références techniques, notre évaluation a principalement porté sur les variations de production entre les parcelles d'agriculteurs. L'hétérogénéité des systèmes agroforestiers, comme ceux à base de cacaoyer, complexifie cependant le choix des indicateurs nécessaires à leur évaluation (Doré et al., 2008). Les disponibilités en eau, en éléments minéraux et en lumière vont en effet dépendre des relations de compétition entre les cacaoyers et les différentes espèces qui y sont associées et qui seront elles-mêmes en grande partie déterminées par la structure de leur peuplement en tant que « *combinaison de plusieurs éléments de structure tels que : le type de distribution des arbres, la densité des peuplements, leur différenciation verticale, la diversité d'espèces et les formes de mélange ou d'agrégation entre individus* » (Schütz, 1997, cité par Lamanda, 2005). Le fonctionnement agroécologique d'un système de culture peut alors être appréhendé au travers de l'analyse de sa structure comme cela a été démontré dans plusieurs travaux (Michon et al., 1983 ; Fernandes et Nair, 1986 ; Torquebiau, 1992 ; Kumar et al., 1994 ; Kumar et Nair, 2004 ; Lamanda et al., 2006).

D'autres travaux ont également mobilisé la notion de structure pour comprendre expliquer la richesse du peuplement de jardins agroforestiers en fonction de leur localisation géographique (Millat-E-Mustafa et al., 1996), caractériser les niveaux de biodiversité de cacaoyères agroforestières (Zapfack et al., 2002 ; Asare et Tetteh, 2010), évaluer la production de biomasse et le recyclage des nutriments dans des systèmes agroforestiers (Gajaseneni et Gajaseneni, 1999), ou classer des jardins agroforestiers et examiner les relations entre leurs caractéristiques socio-économiques et agroécologiques (Méndez et al., 2001 ; Bisseleua et Vidal, 2008).

La notion de structure a également permis à Lamanda et al. (2004 ; 2006) de caractériser les systèmes de culture agroforestiers à base de cocotier au Vanuatu et leur dynamique temporelle à partir de l'étude d'une diversité de situations.

Les adaptations que nous avons apportées à la méthode du diagnostic agronomique régional pour évaluer un peuplement cacaoyer dans un système agroforestier sont précisées dans le chapitre 4 de la thèse.

Résultats

Chapitre 1

Chapitre 1 : Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer mis au point par les agriculteurs du Centre-Sud du Cameroun constituent-ils des systèmes durables aux plans agro-écologique et socio-économique ?

Ce chapitre répond à notre première question de recherche. Il vise à vérifier, à l'aide de plusieurs variables, la longévité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer. Nous montrons ici que la conduite des cacaoyères agroforestières se traduit par un agencement spatio-temporel de plusieurs espèces forestières et fruitières associées à plusieurs générations de cacaoyers, et par des pratiques de réhabilitation continue des cacaoyères. Celles-ci permettent aux agriculteurs de maintenir sur un pas de temps long une production de cacao marchand, peu élevée, mais stable, sans apport d'engrais, et ce, quel que soit le contexte pédo-climatique.

Ce travail est présenté sous la forme d'un article intitulé « *Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon* » qui a été publié dans la revue *Agroforestry Systems*.

Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon

Patrick Jagoret · Isabelle Michel-Dounias ·
Eric Malézieux

Received: 11 December 2009 / Accepted: 24 December 2010 / Published online: 9 January 2011
© Springer Science+Business Media B.V. 2011

Abstract The sustainability of cocoa growing systems in the humid tropics is debatable. Socio-economic and technical data were obtained from 1,171 cocoa farmers and 1,638 cocoa plantations to assess the long-term dynamics of cocoa agroforests in central Cameroon since the beginning of the twentieth century. On-site, we estimated the age of the cocoa trees and measured their density in a sub-sample of 402 cocoa plantations. We inventoried associated woody species in 45 cocoa plantations from this sub-sample. Our results revealed a high Shannon index for the cocoa plantations (2.6) and showed that an average of 25 tree species per cocoa plantation had been planted with the cocoa trees at a density of 120 trees ha⁻¹. Surveys indicated that there had been no mineral fertilization. Nearly 70%

of the cocoa agroforests were over 40 years old, and all farmers continuously regenerated their cocoa tree stands. Irrespective of the cocoa plantation age, the cocoa tree density remained over 1,000 plants ha⁻¹, and fermented dried cocoa yields were 255 kg ha⁻¹ on average. Cocoa agroforests occupied 60% of the cultivated area on farms and cocoa sales accounted for 75% of total farm income. Almost a third of the farmers were from the area and under 40 years old. In conclusion, our results show that the farmers' agroforestry practices, in addition to the fact that the cocoa tree stands were continuously regenerated and passed down between generations of farmers, could explain the long-term dynamics of cocoa agroforests in central Cameroon.

Keywords Agroforestry systems · Sustainability · Agrobiodiversity · Management · Regeneration practices · Cocoa yield · Cocoa farm · *Theobroma cacao* L.

P. Jagoret (✉)
CIRAD, UPR Systèmes de pérennes, 34398 Montpellier,
France
e-mail: patrick.jagoret@cirad.fr

P. Jagoret
IRAD, Nkolbisson, BP 2572, Yaoundé, Cameroon

I. Michel-Dounias
Montpellier SupAgro, Institut des régions chaudes, UMR
Innovation, 1101 Avenue Agropolis, BP 5098,
34093 Montpellier, France
e-mail: isabelle.michel@supagro.inra.fr

E. Malézieux
CIRAD, UPR HortSys, 34398 Montpellier, France
e-mail: eric.malezieux@cirad.fr

Introduction

Cocoa growing has been classified as 'tree crop shifting cultivation' since the early twentieth century (Knapp 1920) since new cocoa stands have always been planted on cleared forest land (Ruf 1987). Cocoa plantations set up in this way are usually managed in accordance with agricultural research recommendations, in monocultures or under uniform

lighting and shade (Enriquez 1985; Willson 1999), but not always in compliance with fertilization recommendations. After 30–40 years of cultivation, these cocoa plantations are often hampered by the biological decline in the cocoa trees, and the loss of soil fertility, and thus they have to be regenerated (Jolly 1955; Lanfranchi 1971; Montgomery 1981). Due to high labour and input costs, however, regenerating senescent cocoa plantations is more expensive than setting up new cocoa plantations on cleared forest land (Trivedi 1992; Ruf et al. 1994; Petithuguenin 1995). Consequently, old cocoa plantations are usually abandoned and farmers plant new stands after forest clearing, as is common practice in Côte d'Ivoire (Ruf et al. 1994). They may also be reconverted into annual crop plots (e.g. in Togo and Haiti), grazing land (e.g. in Brazil), or into rubber tree or oil palm plantations (e.g. in Côte d'Ivoire; Harwich 1992; Ruf 1995).

Paradoxically, in Cameroon, cocoa agroforests are still being cultivated after a century, which would tend to show that a sustainable cocoa growing model is possible. Cameroon has been producing cocoa since the beginning of the nineteenth century and central Cameroon is the oldest production region (Champaud 1966; Assoumou 1977). In this area, the many cocoa agroforestry based farms are often passed down from generation to generation, thus enabling young farmers to start out. Cocoa growing is also spreading into theoretically less suitable areas for its development, such as forest–savannah transition zones (Jagoret and Malézieux 2007). Cocoa growing systems in central Cameroon, however, have developed differently with respect to the models usually recommended by agricultural research—farmers combine cocoa trees with a broad range of forest or fruit species in complex agroforests, as described by certain authors (Duguna et al. 2001; Zapfack et al. 2002; Sonwa et al. 2007).

Some cocoa growing systems of the same type have been described in Nigeria (Degrande et al. 2006; Oke and Odebiyi 2007), Côte d'Ivoire (Herzog 1994), Ghana (Asare and Tetteh 2010) and Brazil (Ruf and Schroth 1995), but these studies did not provide any insight into all of the agro-ecological and socio-economic aspects of the long-term dynamics of such systems. Moreover, there is little information available on the technical management and performance of cocoa tree stands. In addition, the long-term evolution

of such systems is poorly documented, as such studies would require measurable indicators that could be used to monitor changes in different variables over time (Francis et al. 1990; Rodrigues et al. 2009).

As complex agroforestry systems (AFS) are hard to characterise, we decided to study cocoa agroforests in central Cameroon over several decades by focusing specifically on cocoa tree stands. Data, including technical variables on cocoa plantations, were gathered in a survey involving 1,171 farmers. Our study covered the three main cocoa growing zones in central Cameroon that were representative of the north–south soil–climate gradient characterizing that production region.

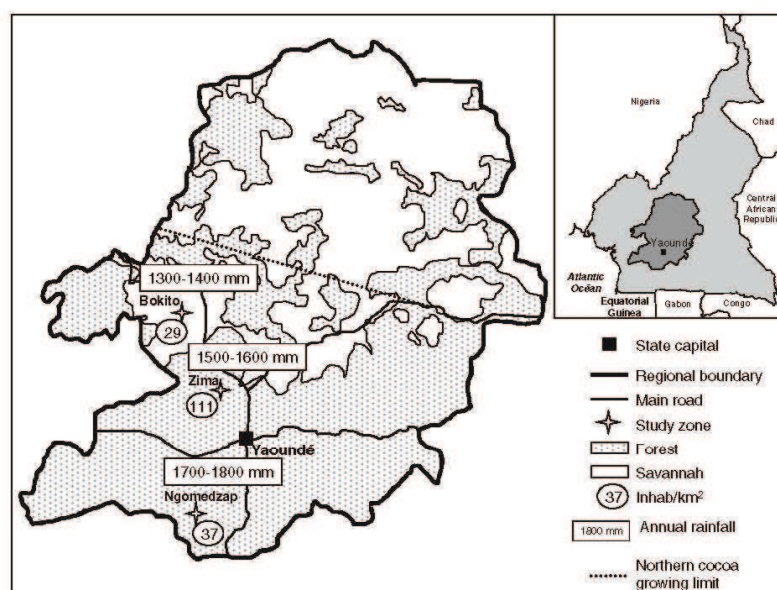
Materials and methods

Sites and sampling

In 2004, we surveyed 1,171 farms comprising a total of 1,638 cocoa agroforests located at three geographical sites (Bokito, Zima and Ngomedzap). They were representative of the north–south gradient characterizing natural conditions in the cocoa growing region of central Cameroon (Fig. 1). The sample distribution was as follows: 429 farms in Bokito (526 cocoa plantations), 421 farms in Zima (687 cocoa plantations) and 321 farms in Ngomedzap (427 cocoa plantations). Cocoa tree density, yield and age were monitored in a sub-sample of 402 cocoa plantations whose area had remained constant since their creation (Bokito: 86; Zima: 219; Ngomedzap: 97). Tree species associated with cocoa trees were inventoried in 45 of those cocoa plantations (15 per site).

Central Cameroon is located between 2.1° and 5.8°N and 10.5° and 16.2°E, at 600–800 m elevation. The climate is hot and humid, with an average annual temperature of 25°C (Santoir and Bopda 1995). It is divided into two distinct wet and dry seasons that vary in duration from north to south (bimodal rainfall regime). The main dry season lasts 5 months in Bokito (mid-November–mid-April) and 3 months in Ngomedzap (mid-November–mid-February). The average total annual rainfall is around 1,400 mm in Bokito, 1,600 mm in Zima, and 1,800 mm in Ngomedzap. Bokito is located in a forest–savannah transition zone with low land pressure, characterized by a patchwork of forest galleries and herbaceous and sedge savannahs on

Fig. 1 Location and characteristics of the three study sites in central Cameroon



rejuvenated slightly desaturated soils. Zima is in a forest zone with substantial human activity, where the vegetation is influenced by forest clearing and tree cropping on moderately desaturated ferrallitic soils. Ngomedzap is in a forest zone with low land pressure, where the prevailing vegetation is dense evergreen forest on highly desaturated ferrallitic soils (Santoir and Bopda 1995).

Methodological approach

The monitoring was done on three scales: (i) plot, i.e. a 'cocoa plantation' or 'cocoa agroforest', defined as being a portion of an area where cocoa tree stands have a uniform age and structure; (ii) cocoa area, i.e. all adjacent (or not) cocoa plantations on a farm; and (iii) farm, considered as a territory with common resources managed by a family group under the authority of a head of family.

Plantation age, cocoa density and yield and regeneration practices were considered to be the main relevant variables to address and test the long-term dynamics of cocoa agroforests.

Our assessment of cocoa agroforests took their long-term dynamics into account. For cocoa tree stands, age, density and yield variables and farmers' regeneration practices were analysed according to

seven cocoa plantation age (since creation) categories, which were defined in decades so as to be in line with the cocoa tree biological cycle: immature cocoa plantations under 10 years old; mature cocoa plantations: 11–20, 21–30, 31–40 years; senescent cocoa plantations: 41–50, 51–60, 61 years and over. Due to the small sub-sample size, the degree of agrobiodiversity in the cocoa plantations and the density of tree species associated with the cocoa trees were analysed according to the three main phases of cocoa cropping systems (<10 years: immature cocoa plantations; 10–40 years: mature cocoa plantations; >40 years: senescent cocoa plantations).

Data collection and observed variables

On a farm scale, the variables focused on in interviews with the 1,171 farmers were: (i) the cultivated land per crop and the available land; (ii) farmers' annual income calculated for 2003, including income from agricultural production on the farm, and non-agricultural income (hunting, fishing, salary, retirement pension, etc.); and (iii) the age, origin and ethnic group of the farmers.

On a plot scale, all interviewed farmers provided information on the following variables for each of their cocoa plantations (total sample: 1,638 cocoa

plantations): (i) the year of creation (cocoa plantation age); (ii) variations in the area over time; (iii) annual number of cultivation operations carried out in the cocoa tree stands (pruning, mineral fertilization, weeding, insecticide and fungicide treatments); (iv) regeneration, i.e. replacing dead cocoa trees with seedlings (yes/no), rejuvenation of old cocoa trees by cutting back (yes/no), or both at once in the same plot; (v) average fermented dried cocoa yield according to the area, and production data declared by farmers in the sub-sample of 402 cocoa plantations for the three harvest seasons preceding the survey (2001–2003).

In the sub-sample of 402 cocoa plantations, data on the cocoa tree density (obtained by counting plants in a randomly bounded 100 m² quadrat) and the age of the counted cocoa trees (estimated on site with the farmers) were collected. In 45 cocoa plantations of the sub-sample, associated species were inventoried throughout each cocoa plantation, while only counting species over 1 m in height. The findings were used to calculate the associated tree density, the species richness and to estimate the degree of agrobiodiversity in the cocoa plantations by calculating the Shannon index (Krebs 1985). We also questioned farmers about the way they managed associated trees over time.

Statistical analyses

Data concerning densities, cocoa yield, Shannon index, number of associated tree species, areas and incomes were assessed by an analysis of variance (ANOVA) using a general linear model. Tests of significance between age categories of cocoa agroforests and sites were performed using the Fisher test. When significant differences were observed, the Newman–Keuls test was used to compare means between treatments. Correlations between variables were verified. When variables proved to be significantly correlated at the 5% limit, an analysis of simple and multiple regression was carried out (Pearson test at the 1% limit).

Results

Age of cocoa agroforests

At a regional level, 68% of the cocoa plantations had been planted more than 40 years previously (Fig. 2).

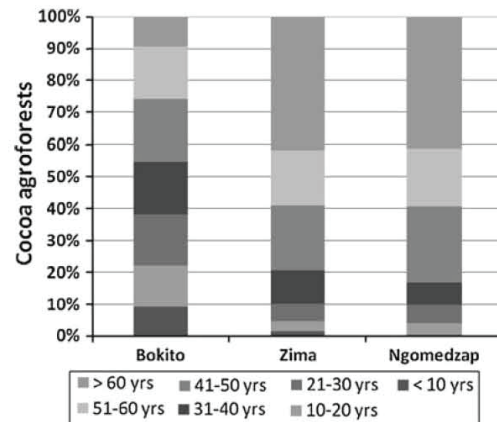


Fig. 2 Distribution of cocoa plantations by age category (data gathered from farmers' interviews, 1,638 cocoa agroforests, central Cameroon)

That proportion was 83% in Ngomedzap and 79% in Zima. In these two zones, most of the cocoa plantations had been planted before WWII. In Bokito, 45% of the cocoa plantations were over 40 years old and cocoa growing had mainly begun developing in the 1950 s. It was also found that plantations under 20 years old accounted for 11% of the dataset on average. These young cocoa plantations were more numerous in Bokito (22%) than in Zima (5%) and Ngomedzap (4%).

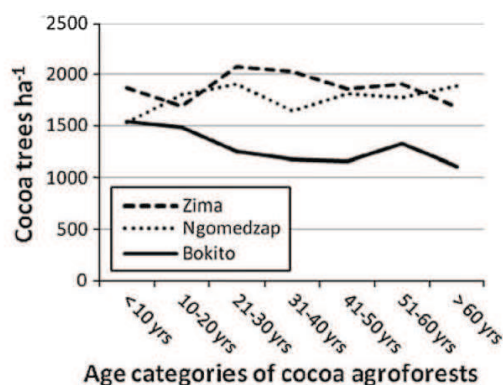
Agro-biodiversity and associated tree management

The average Shannon index for the cocoa plantations was 2.64 (Table 1). On average, 25 tree species, including 20 native species, were associated with cocoa trees, with an average density of 120 trees ha⁻¹. The Shannon index increased significantly from 2.35 in young cocoa plantations to 2.90 in cocoa plantations over 40 years old. No significant difference was found between the three sites, although an upward trend was noted with respect to the north–south pedoclimatic gradient in the central Cameroon region. The number of species per cocoa plantation increased significantly from 17 in young cocoa plantations to 30 in cocoa plantations over 40 years old, and from 18 in Bokito to 30 in Ngomedzap. The density of trees associated with cocoa trees decreased significantly from 155 ha⁻¹ in young cocoa plantations to 92 ha⁻¹ in cocoa

Table 1 Agro-biodiversity, average species richness per cocoa plantation and associated tree density ha^{-1} (\pm SD of the mean) depending on the cocoa plantation age and site (data measured in 45 plots, central Cameroon)

Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.01$, Newman–Keuls test)

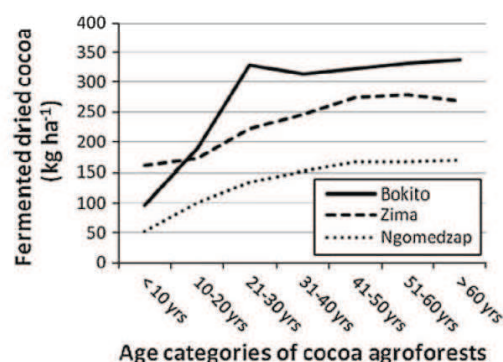
	Shannon index	Species richness	Associated tree density ha^{-1}
Cocoa plantation age			
<10 years	2.35 (± 0.09) b	17 (± 2.12) b	155 (± 24.98) a
10–40 years	2.72 (± 0.12) b	29 (± 4.38) a	107 (± 14.89) b
>40 years	2.90 (± 0.15) a	30 (± 4.86) a	92 (± 9.99) b
Sites			
Bokito	2.48 (± 0.09) a	18 (± 2.18) b	96 (± 16.18) b
Zima	2.66 (± 0.15) a	27 (± 5.73) b	94 (± 12.39) b
Ngomedzap	2.77 (± 0.15) a	30 (± 4.28) a	158 (± 20.76) a
Mean	2.64 (± 0.08)	25 (± 2.38)	120 (± 11.52)
CV	0.19	0.58	0.59

**Fig. 3** Variation in cocoa tree density over time (data measured in 402 cocoa agroforests, central Cameroon)

plantations over 40 years old, while it increased significantly from 96 ha^{-1} in Bokito to 158 ha^{-1} in Ngomedzap. Farmers explained that, in young cocoa plantations, associated trees were planted in high density stands to hamper rapid weed invasion in the plots and to obtain suitable shading conditions for the cocoa trees. The farmers then ensured that the shading conditions remained suitable for cocoa tree growth by thinning down the associated trees.

Density and yield of cocoa tree stands

The average cocoa tree density was $1,640 \text{ plants ha}^{-1}$ and the average fermented dry cocoa yield was 255 kg ha^{-1} . The cocoa tree density was stable over time, without any significant difference between cocoa plantation age categories (Fig. 3). After 20 years, the fermented dry cocoa yield was stable

**Fig. 4** Variation in fermented dried cocoa yields over time (data gathered from farmers' interviews, 402 cocoa agroforests, central Cameroon)

over time, without any significant difference between cocoa plantation age categories (Fig. 4). No correlation between these two variables and the cocoa plantation age was found, irrespective of the site. However, significant differences were found between sites. In Zima and Ngomedzap, cocoa tree densities were significantly higher than in Bokito ($1,707$, $1,647$, and $1,280 \text{ plants ha}^{-1}$, respectively). The fermented dried cocoa yield, on the contrary, was significantly lower in Zima and Ngomedzap than in Bokito (277 , 144 , and 326 kg ha^{-1} , respectively).

Agricultural management of cocoa tree stands

All farmers confirmed that they had not applied mineral fertilizers or herbicides. Cocoa tree pruning was conducted everywhere once a year. In Bokito, 91% of cocoa plantations were weeded 2–3 times a

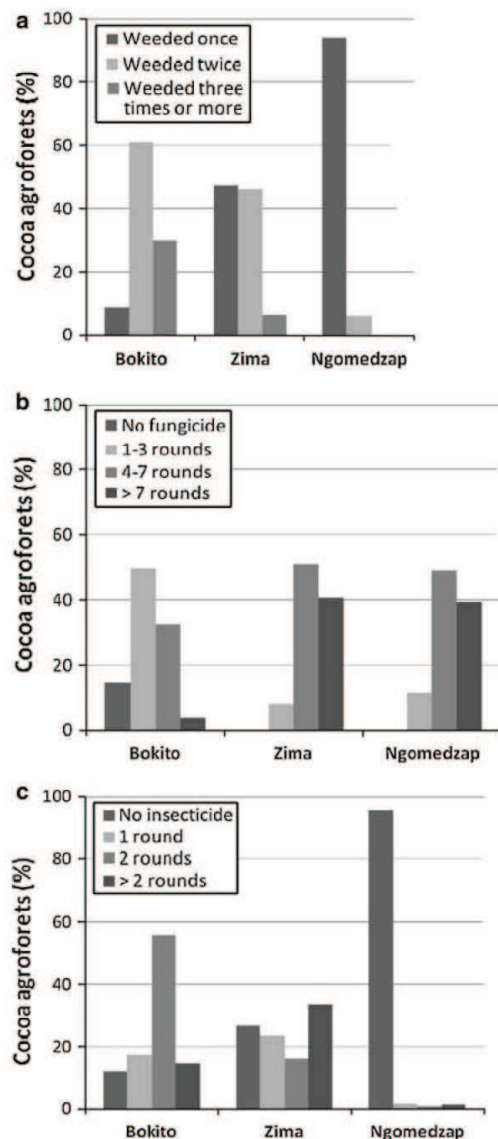


Fig. 5 Survey of farmers: agricultural practices in cocoa agroforests: number of plots (%) depending on the number of operations (1,638 cocoa agroforests, central Cameroon). **a** Manual weeding, **b** fungicide treatments against black pod rot and **c** insecticide treatments against mirids

year, whereas 47% were only weeded once a year in Zima and 94% in Ngomedzap (Fig. 5a). 64% of cocoa plantations were treated 0–3 times a year against black pod rot in Bokito, whereas 92% and

88% of cocoa plantations were treated four times a year or more in Zima and Ngomedzap, respectively (Fig. 5b). 71% of cocoa plantations in Bokito were treated twice a year or more against mirids, whereas 50% of cocoa plantations in Zima and 95% in Ngomedzap were not treated against mirids (Fig. 5c).

Regeneration of cocoa tree stands

A majority of farmers (94%) mentioned that they replaced dead cocoa trees with seedlings and an average of 53% of farmers said that they rejuvenated their cocoa trees by selectively cutting back senescent or unproductive cocoa trees (Table 2). In Ngomedzap, however, a higher number of farmers cut back their cocoa trees. On average, 50% of the farmers of the sample applied both techniques simultaneously in the same cocoa stand, and this proportion was higher in Ngomedzap than in Zima and Bokito. A majority of farmers regenerated their cocoa stands irrespective of the plantation age (Fig. 6): the absence of any correlation between the proportion of farmers who replaced dead cocoa trees and the age of the cocoa plantations confirmed that the process was ongoing. Cocoa tree rejuvenation, however, was mostly carried out in the oldest cocoa stands and the proportion of farmers who cut back their cocoa trees also increased significantly with the age of the plantations involved (Pearson's $r = 0.271$; $P < 0.001$).

Age of cocoa tree stands versus age of cocoa agroforests

Continuous cocoa tree replacement was reflected by the coexistence of cocoa trees of different ages in the

Table 2 Farmers regenerating their cocoa plantations, as a % of interviewed farmers, in three ways: replacement of dead cocoa trees with seedlings (yes/no), rejuvenation of old cocoa trees by cutting back (yes/no), simultaneous replacement + rejuvenation in the same plot (data gathered from 1,171 farmers, central Cameroon)

Site	Replacement	Rejuvenation	Replacement + rejuvenation
Bokito	96	48	48
Zima	94	46	44
Ngomedzap	89	70	63
Mean	94	53	50

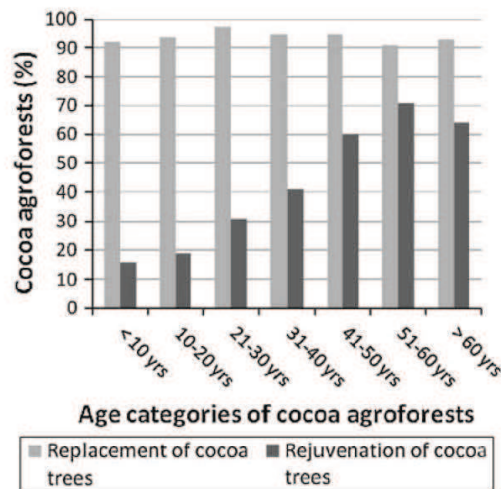


Fig. 6 Regeneration of cocoa plantations in central Cameroon per plantation creation age category (data gathered from farmers' interviews, 1,638 cocoa agroforests, central Cameroon)

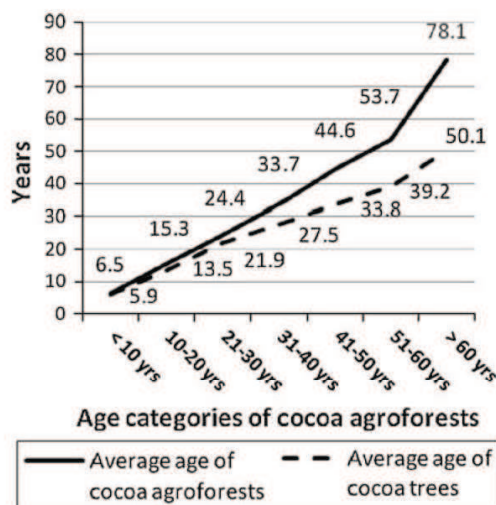


Fig. 7 Comparison of cocoa tree ages and cocoa plantation ages (cocoa tree ages measured in 402 cocoa agroforests, cocoa plantation ages obtained from the farmers of those plots, central Cameroon)

same stand. The main consequence of this was that it lowered the age of the cocoa trees compared to the plantation age (Fig. 7). At a regional level, whilst the average age of the cocoa plantations was 54 years, the average age of the cocoa trees was 40 years—this

age gap increased with increasing age of the cocoa plantations.

Importance of cocoa agroforests for farmers

Globally, the farmers declared that they cultivated 5.3 ha on average, including 3.2 ha of cocoa agroforests, i.e. 60% of the total cultivated area (Table 3). Significant differences were found between the three sites, with the cocoa crop area gradually increasing from Bokito to Zima and then to Ngomedzap. At a regional level, and for each site, the area cultivated per farm increased significantly in line with the cocoa crop area (Pearson's $r = 0.82$; $P < 0.001$).

The importance of the role of cocoa growing in the farms of central Cameroon was supported by the amount of annual income derived from sales of fermented dried cocoa, i.e. 619,104 CFA F on average (n.b. 656 CFA F = 1 €), or 75% of the farmers' total income (Table 3). Significant differences in income were noted between the three sites, with the highest income from cocoa found in Zima, followed by Ngomedzap and then Bokito (778,419 CFA F for 76% of the total income, 572,289 CFA F for 77%, 495,445 CFA F for 73%, respectively). At a regional level, and for each site, the total income per farm increased significantly in line with the income from sales of fermented dried cocoa (Pearson's $r = 0.71$; $P < 0.001$).

Age of cocoa farmers

Young farmers (<40 years old) accounted for 30% on average of the farmers interviewed (1,171 farmers) (Fig. 8). There were significantly more of them in Ngomedzap and Bokito (31 and 39%, respectively) than in Zima (19%). Everywhere, the young farmers were from local communities, belonging to the Yambassa ethnic group in Bokito, Eton group in Zima and Ewondo group in Ngomedzap. There was no correlation between the age of the farmers and that of the cocoa plantations in Zima and Ngomedzap, whereas that correlation was significantly positive in Bokito (Pearson's $r = 0.23$; $P < 0.001$).

Increase in the cocoa agroforestry area

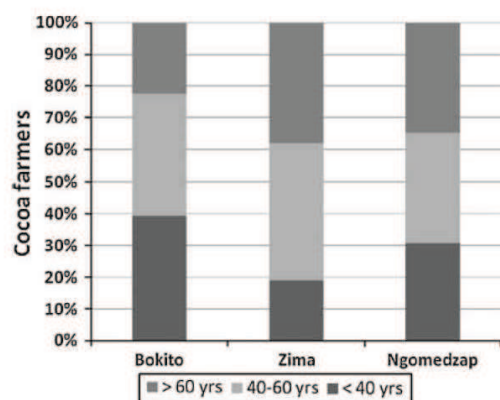
At a regional level, 66% of the cocoa plantations, 79% of which were over 40 years old, had increased

Table 3 Importance of cocoa agroforests on the farms in terms of area and income (\pm SD of the mean) (data gathered from 1,171 farmers, central Cameroon)

Sites	Farm area (ha)			Annual income (CFA F) ^a	
	Total	Cultivated		Total	Fermented dried cocoa
		Total	Cocoa area		
Bokito	7.3 (\pm 0.46) c	3.5 (\pm 0.10) c	2.1 (\pm 0.06) c	678,233 (\pm 25,091) b	495,445 (\pm 21,335) c
Zima	11.9 (\pm 0.69) b	6.1 (\pm 0.18) b	3.8 (\pm 0.12) b	1,019,936 (\pm 37,143) a	778,419 (\pm 26,432) a
Ngomedzap	57.3 (\pm 17.72) a	6.8 (\pm 0.22) a	4.1 (\pm 0.14) a	742,149 (\pm 47,164) b	572,289 (\pm 24,177) b
Mean	22.2 (\pm 4.90)	5.3 (\pm 0.10)	3.2 (\pm 0.07)	818,866 (\pm 21,168)	619,104 (\pm 14,451)
CV	0.76	0.67	0.74	0.88	0.80

Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.01$, Newman–Keuls test)

^a 656 CFA F = 1 €

**Fig. 8** Farmer ages (data gathered from 1,171 farmers' interviews, central Cameroon)

by 1.18 ha in size since their creation, i.e. an 85% increase (Table 4). However, in Zima, the increase in area concerned less cocoa plantations (48% of the sample) than in Ngomedzap (70%) and Bokito (80%). The increase in area was also significantly lower (+27%) than in Ngomedzap (+134%) and Bokito (+198%).

Discussion

The cocoa growing model in central Cameroon appears to be very different from the one prevailing in many cocoa producing countries, such as Côte d'Ivoire or Indonesia. In these countries, the dominant system is labour- and input-intensive and often favours uniform shade with little diversification

(Ruf 1995; Hanak Freud et al. 2000). The management strategy applied in these cocoa plantations generates high cocoa yields in the early years (around 2–3 t ha⁻¹ year⁻¹), but after a few years it slumps to 200–300 kg ha⁻¹ year⁻¹ (Petithuguenin 1995; Lachenaud 2005), leading to their abandonment after 30–40 years (Ruf 1995). On the contrary, in central Cameroon, we found that most cocoa stands had been planted more than 40 years earlier, corresponding to the age beyond which regeneration is generally necessary due to cocoa tree senescence. The cocoa stand structure in central Cameroon is therefore very different from that in other countries, such as Côte d'Ivoire, where cocoa plantations over 40 years old account for less than 5% of cocoa stands (Hanak Freud et al. 2000). At the same time, yields from old cocoa agroforests in central Cameroon had levelled off in the long-term at around 200–300 kg ha⁻¹ year⁻¹, which is similar to yields observed by Duguna et al. (2001) in forest areas in central and southern Cameroon, i.e. a 264–500 kg ha⁻¹ depending on the intensification level. The cocoa tree density also remained steady in the long-term at around 1,000–2,000 plants ha⁻¹, which invalidated the commonly acknowledged decrease in cocoa tree density with age, with mortality rates of around 50% at 40 years and more than 75% at 50 years (Laryea 1971).

The long-term dynamics of cocoa tree stands in central Cameroon suggests that the cocoa growing model adopted by farmers, where cocoa tree stands are the main component of complex agroforests, is more sustainable than the cocoa growing model prevailing in many cocoa producing countries and which is often recommended by agricultural research.

Table 4 Increase in cocoa plantation area (\pm SD of the mean) (data gathered from farmers' interviews, 1,638 cocoa agroforests, central Cameroon)

Site	Percentage of cocoa plantations	Area (ha)		Increase in area (%) (CA – IA/IA*100)
		Initial (year of creation) (IA)	Current (2004) (CA)	
Bokito	80	0.62 (\pm 0.04) c	1.85 (\pm 0.07) c	198 (\pm 0.068) a
Zima	48	2.12 (\pm 0.06) a	2.69 (\pm 0.09) b	27 (\pm 0.087) c
Ngomedzap	70	1.43 (\pm 0.26) b	3.35 (\pm 0.12) a	134 (\pm 0.119) b
Mean	66	1.38 (\pm 0.08)	2.56 (\pm 0.05)	85 (\pm 0.096)
CV		1.98	0.72	1.48

Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.01$, Newman–Keuls test)

The amazing longevity of the cocoa plantations in central Cameroon, even though farmers did not use any mineral fertilization, could be explained by the different farmers' practices. The high number of tree species associated with cocoa trees, which were similar to the numbers reported by Sonwa et al. (2007), i.e. 15–26 species per cocoa agroforest, and the high Shannon indices revealed the high degree of agrobiodiversity in these cocoa agroforests. However, the Shannon indices we obtained were lower than those obtained in central Cameroon by Sonwa et al. (2007), i.e. 3.1–3.9, and by Zapfack et al. (2002), i.e. 4.39, whereas they were similar to those obtained by Oke and Odebiyi (2007) in cocoa agroforests in Nigeria (2.7), by Asare and Tetteh (2010) in cocoa agroforests in Ghana (2.6) and by Salgado-Mora et al. (2007) in cocoa agroforests in Mexico (2.7–2.9).

Many studies have revealed the advantages of AFS for improving and maintaining the mineral richness of soils (Beer et al. 1998; Barrios and Cobo 2004; Isaac et al. 2005; Tapia Coral et al. 2005). The soil organic matter values mentioned by Duguna et al. (2001) in mature cocoa plantations set up in forest areas in central and southern Cameroon are around 4.1–4.7%. In these areas, Snoeck et al. (2009) also showed that the soil organic carbon level was 1.78 in cocoa plantations over 25 years old, but this value was lower in young cocoa plantations due to forest clearing, and then it increased back to a level similar to that of forest soils prior to cocoa planting. In the forest–savannah transition zone around Bokito, Glatard et al. (2007) showed that the soil organic matter under cocoa plantations set up on savannah was around 3% in 10 year-old cocoa plantations and higher than in savannah before cocoa planting. These values confirm that the soil fertility in cocoa

agroforests in central Cameroon is in line with the cocoa tree requirements, i.e. approximately 3% organic matter in top soil (Braudeau 1969).

The significant variations in diversity and number of trees associated with cocoa trees with the cocoa plantation ages and sites highlights the farmers' observational capacity and experience acquired in managing these species according to the constraints they face. Our results showed that environmental conditions influenced the way farmers managed their cocoa tree stands. In the forest–savannah transition zone of Bokito, the lower densities of tree species associated with cocoa trees fostered mirid outbreaks (Babin et al. 2010) and *Imperata cylindrica* infestation. This led most farmers to spray their cocoa tree stands with insecticides and weed them more often than in the Zima and Ngomedzap forest zones. In these areas, the denser shade provided by the great number of trees associated with cocoa trees limited mirid attacks and weed growth, but was favourable to black pod rot caused by *Phytophthora megakarya*, thus prompting farmers to treat their cocoa tree stands with fungicides more frequently than in the forest–savannah transition zone. Finally, pest and disease protection in cocoa tree stands in central Cameroon was less than that recommended by agricultural research, i.e. at least two insecticide rounds per year against mirids and four fungicide rounds against black pod rot (Varlet and Berry 1997). In this field, our results confirmed the findings of Sonwa et al. (2008), who showed that pest and disease control treatments in central Cameroon were lower than recommended.

Cocoa tree regeneration practices implemented by farmers also appeared to be another decisive factor in the long-term dynamics of cocoa tree stands in

central Cameroon. Our results invalidated the common claim that cocoa tree stands become senescent due to the lack of regeneration of old cocoa trees (Champaud 1966; Losch et al. 1991). The two continuous cocoa tree regeneration methods are further evidence that the farmers use their observational capacity and experience to lower the age of their cocoa tree stands and rejuvenate them by taking advantage of the morphological and physiological characteristics of the cocoa trees. By replacing dead cocoa trees, farmers take advantage of the capacity of this species to develop in a shaded environment (Burle 1961). By cutting back senescent cocoa trees and then opting for their multiple-stem management before eliminating old trunks, they make optimum use of this tree's ability to produce orthotropic suckers (Braudeau 1969).

Otherwise, our results showed that the long-term dynamics of cocoa agroforests could be also explained by several socio-economic factors. The importance of cocoa agroforest on farms in the area confirmed the values mentioned by Santoir (1992) in central Cameroon, i.e. 61–63% according to the sites. Our results concerning the importance of these cocoa agroforests with respect to household income also confirmed the values reported by Leplaideur (1985). In the same areas, this author mentioned that cocoa accounted for between 50 and 75% of the income of more than 90% of cocoa farmers. Farmers' interest in the cocoa agroforestry model was demonstrated by the fact that a many of them, including almost a third of farmers under 40 years old, increased the area of their old cocoa plantations and managed them according to the same model rather than setting up new plantations. This pattern, which was reflected in the field by the grouping of several adjacent cocoa plantations in one spot, even though they differed agronomically in age and structure, invalidated the common claim that there is a lack of new cocoa plantations in central Cameroon (Champaud 1966; Losch et al. 1991). In Zima and Ngomedzap, where cocoa growing has a longer history, the low ages of farmers shows that old cocoa plantations are no longer managed by the farmers who set them up. This indicates that old cocoa plantations are passed on from generation to generation, favouring their longevity whilst enabling young farmers to maintain their land rights, to start out and increase the cocoa growing areas they have inherited.

Concerning the methods adopted for this study, using survey variables declared by farmers and variables measured in the field generated consistent indicators for clear assessment of the long-term dynamics of cocoa agroforests in central Cameroon. Further investigations are needed, however, to study the biological interactions existing between the different tree species components that constitute these complex AFS. The initial systems were also unknown, and they may have undergone a range of variations over time, depending on local environmental conditions and farmers' strategies. It would be possible to identify patterns of change in the technical management of plots and the key socio-economic factors determining such changes by implementing an approach focused on the main crop stand (cocoa trees), and taking those changes into consideration over time.

Conclusion

As the sustainability of cocoa growing systems in the humid tropics is debatable, our study confirmed the long-term dynamics of cocoa agroforests in central Cameroon. It described long-standing but ongoing systems characterized by a high degree of agrobiodiversity with remarkably stable cocoa yields in the absence of mineral fertilization. The agroforestry practices adopted by farmers who continuously regenerated their cocoa plantations appeared to be key factors in the long-term evolution of these cocoa plantations. The substantial proportion of young farmers, and the importance of cocoa agroforests on the farms and in the income of agricultural households, also appeared to be the main social factors ensuring their longevity after 40 years, even in theoretically less suitable zones for cocoa growing such as the forest–savannah transition zone.

Finally, cocoa agroforests in central Cameroon are a model of very long-term stabilized and viable cocoa growing that differs from the intensive production models usually recommended. These AFS appear to be a possible answer to the technical and economic constraints faced in the regeneration of old cocoa plantations, while addressing the challenges raised by the disappearance of forests which had previously allowed the settlement of new cocoa production zones.

Acknowledgments This work, which was carried out in partnership with the *Institut de recherche agricole pour le développement* (IRAD, Cameroon) and the *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement* (CIRAD, France), was undertaken as part of the project entitled “Development of competitive and sustainable cocoa growing systems in Africa” funded by the French Ministry of Foreign and European Affairs. The authors would like to thank Cécile Fovet-Rabot and Didier Snoeck, from CIRAD, for their critical proofreading, and the two anonymous referees for their comments on earlier versions of the paper.

References

- Asare A, Tetteh DA (2010) The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agrofor Syst* 79:355–368
- Assoumou J (1977) L'économie du cacao. Agriculture d'exportation et bataille du développement. Editions universitaires Jean-Pierre Delarge, Paris
- Babin R, Ten Hoopen GM, Cilas C, Enjalric F, Yédé M, Gendre P, Lumaret JP (2010) Impact of shade on the spatial distribution of *Sahlbergella singularis* in traditional cocoa agroforests. *Agric For Entomol* 1:69–79
- Barrios E, Cobo JG (2004) Plant growth, biomass production and nutrient accumulation by slash/mulch agroforestry systems in tropical hillsides of Colombia. *Agrofor Syst* 60:255–265
- Beer J, Muschler RG, Kass D, Somarriba E (1998) Shade management in coffee and cacao plantations. *Agrofor Syst* 38:139–164
- Braudeau J (1969) Le cacaoyer. Collection Techniques agricoles et productions tropicales. Editions Maisonneuve et Larose, Paris
- Burle L (1961) Le cacaoyer. Tome premier. Editions Larose, Paris
- Champaud J (1966) L'économie cacaoyère du Cameroun. *Cah Orstom Sér Sci Hum* 3:105–124
- Degrande A, Schreckenber K, Mbooso C, Anegbeh P, Okafor V, Kanmegne J (2006) Farmers' fruit tree-growing strategies in the humid forest zone of Cameroon and Nigeria. *Agrofor Syst* 67:159–175
- Duguna B, Gockowski J, Bakala J (2001) Smallholder Cacao (*Theobroma cacao*) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agrofor Syst* 51:177–188
- Enriquez GA (1985) Curso sobre el cultivo del cacao. CATIE, Turrialba, Serie Materiales de Enseñanza 22
- Francis CA, Butler FC, King LD (1990) Sustainable agriculture in temperate zones. Wiley, New York, Chichester
- Glatard F, Enjalric F, Jagoret P (2007) Characterization and assessment of Cocoa based agroforestry cropping systems in Cameroon according to site conditions and fertility management. In: Second international symposium on Multi-strata agroforestry systems with perennial crops: making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment, 17–21 September 2007, Turrialba, Costa-Rica. CATIE Turrialba
- Hanak Freud E, Petithuguenin P, Richard J (2000) Les champs du cacao. Un défi de compétitivité Afrique-Asie, Karthala, Paris
- Harwich N (1992) Histoire du chocolat. Editions Desjonquères, Paris
- Herzog F (1994) Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agrofor Syst* 27:259–267
- Isaac ME, Gordon AM, Thevathasan N, Oppong SK, Quashie-Sam J (2005) Temporal changes in soil carbon and nitrogen in West African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agrofor Syst* 65:23–31
- Jagoret P, Malézieux M (2007) Complex cocoa agroforests can be successfully established on savannahs: a local innovation in the central region of Cameroon. In: Second international symposium on Multi-Strata agroforestry systems with perennial crops: making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment, 17–21 September 2007, Turrialba, Costa-Rica. CATIE, Turrialba
- Jolly AL (1955) The effect of age of tree on cocoa yields. In: Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance Ltd. A report of Cocoa conference, 13–15 October 1955, London. International Cocoa Organisation, London, pp 54–57
- Knapp AW (1920) Cocoa and chocolate. Their history from plantation to consumer. Chapman et Hall, Londres
- Krebs CJ (1985) Species diversity. In: Krebs CJ (ed) Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Harper and Row, New York, pp 507–534
- Lachenaud P (2005) Densité évolutive en cacaoculture : la nécessité des éclaircies. In: 14th International Cocoa research conference proceedings: towards a sustainable cocoa economy. What strategies to this end? 13–18/10/2003, Accra. Cocoa Producers' Alliance, Lagos, Ghana, pp 309–315
- Lanfranchi J (1971) Régénération cacaoyère. In: 3rd International cocoa research conference proceedings, 23–29 November 1969, Accra. Cocoa Producers' Alliance, Lagos, Ghana, pp 49–55
- Laryea AA (1971) Cocoa rehabilitation in Ghana. In: 3rd International cocoa research conference proceedings, 23–29 November 1969, Accra. Cocoa Producers' Alliance, Lagos, Ghana, pp 37–48
- Leplaideur A (1985) Les systèmes agricoles en zone forestière: les paysans du Centre et du Sud du Cameroun. Cirad-Irat, Paris
- Losch B, Fusillier JL, Dupraz P (1991) Stratégies des producteurs en zone caféière et cacaoyère du Cameroun. Quelles adaptations à la crise? Montpellier, France, Cirad-Dsa, Collection « Documents Systèmes Agraires » (12)
- Montgomery PJ (1981) Some thoughts on the life span of cocoa. *Planter* 57:604–609
- Oke DO, Odebiyi KA (2007) Traditional cocoa-based agroforestry ants forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agric Ecosyst Environ* 122:305–311
- Petithuguenin P (1995) Regeneration of cocoa cropping systems: the Ivorian and Togolese experience. In: Ruf F, Siswoputranto PS (eds) Cocoa cycles: the economics of cocoa supply. Woodhead Publishing, Londres, pp 89–107
- Rodrigues GS, de Barros I, Ehab EE, Sama Lang P, Enjalric F (2009) Integrated indicators for performance assessment of traditional agroforestry systems in South West Cameroon. *Agrofor Syst* 77:9–22

- Ruf F (1987) Eléments pour une théorie des agricultures tropicales humides. De la forêt, rente différentielle, au cacaoyer, capital travail. *L'agron Trop* 42(3):218–233
- Ruf F (1995) Booms et crises du cacao. Les vertiges de l'or brun, Karthala, Paris
- Ruf F, Schroth G (1995) Chocolate forests and monocultures: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. In: Schroth G, Da Fonseca GAB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL, Izac AMN (eds) *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, Washington, DC, pp 107–133
- Ruf F, Forget M, Gasparetto A (1994) Production de cacao et replantation à Bahia (Brésil). CIRAD, Montpellier, 186 pp
- Salgado-Mora MG, Ibarra-Núñez G, Macías-Sámano JE, López-Báez O (2007) Diversidad arbórea en cacaotales des Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32(11):763–768
- Santoir C (1992) Sous l'empire du cacao. Etude diachronique de deux terroirs camerounais. Editions Orstom, Paris
- Santoir C, Bopda A (1995) Atlas régional Sud-Cameroun. Editions Orstom, Paris
- Snoeck D, Abolo D, Jagoret P (2009) Temporal changes in VAM fungi in the cocoa agroforestry systems of central Cameroon. *Agrofor Syst* 78:323–328
- Sonwa DJ, Nkongmeneck AB, Weise SF, Tchataat M, Adesina AA, Janssens MJ (2007) Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodivers Conserv* 16:2385–2400
- Sonwa DJ, Coulibaly O, Weise SF, Tchataat M, Adesina AA, Janssens MJ (2008) Management of cocoa: constraints during acquisition and application of pesticides in the humid forest zones of Southern Cameroon. *Crop Prot* 27:1150–1164
- Tapia Coral SC, Luizão FJ, Wandelli E, Fernandes ECM (2005) Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. *Agrofor Syst* 65:33–42
- Trivedi RK (1992) A case study of cocoa replanting and new planting in Bahia, Brazil. *J Dev Econ* 39:279–299
- Varlet F, Berry D (1997) Réhabilitation de la protection phytosanitaire des cacaoyers et caféiers du Cameroun. Tome I. Conseil interprofessionnel du cacao et du café, Douala
- Willson KC (1999) Coffee, cocoa and tea. CABI, Wallingford
- Zapfack L, Engwald S, Sonke B, Achoundong G, Birang AM (2002) The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. *Biodivers Conserv* 2:2047–2061

Chapitre 2

Chapitre 2 : Quel est le modèle technique mis au point par les agriculteurs pour installer des peuplements cacaoyers dans un milieu écologique peu adapté ?

Ce chapitre se réfère à notre seconde question de recherche. Il vise à analyser les modalités de mise en place et de gestion au cours du temps des cacaoyères agroforestières installées sur savane dans la zone de transition forêt-savane située au nord du bassin de production du cacao du Centre-Sud du Cameroun. Nous montrons que la combinaison et la gestion avec les cacaoyers d'espèces forestières et fruitières spécifiques permettent de contourner de manière innovante les différentes contraintes écologiques de mise en place des peuplements cacaoyers.

Ce travail est présenté sous la forme d'un article intitulé « *Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farm innovation in central Cameroon* » que nous avons soumis à la revue *Agronomy for Sustainable Development*.

Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farm innovation in central Cameroon

Patrick Jagoret¹⁻³, Isabelle Michel-Dounias²⁻⁵, Didier Snoeck¹, Hervé Todem Ngnogué³, Eric Malézieux⁴

¹ CIRAD, UPR Systèmes de pérennes, F- 34398 Montpellier cedex 5, France

² UMR 951 Innovation Montpellier Supagro INRA CIRAD, Campus de la Gaillarde, 2 place Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France

³ IRAD-Nkolbisson, BP 2572, Yaoundé, Cameroon

⁴ CIRAD, UPR HortSys, F- 34398 Montpellier cedex 5, France

⁵ Institut des Régions Chaudes, 1101, avenue Agropolis, BP 5098 34093 Montpellier Cedex 05, Montpellier, France

Corresponding author: Patrick Jagoret (patrick.jagoret@cirad.fr, Tel.: +237 22 23 89 49)

Abstract

Cocoa cultivation is generally considered to foster deforestation. Contrary to this view, in the forest-savannah interface area in Cameroon, farmers have planted cocoa agroforestry systems on *Imperata cylindrica* grasslands, while this soil-climate zone is generally considered unsuitable for cocoa cultivation. We undertook a survey to understand the agricultural and ecological bases of this innovation. Age, cropping history and marketable cocoa yield were assessed in a sample of 157 cocoa plantations established on grasslands and 182 cocoa plantations established in gallery forests. In a sub-sample of 47 grassland cocoa plantations, we inventoried tree species associated with cocoa trees and measured soil organic matter levels. Marketable cocoa yields were similar for the two types of cocoa plantations, regardless of their age: 321 kg ha⁻¹ in cocoa plantations on grasslands and 354 kg ha⁻¹ in cocoa plantations in gallery forests. Two strategies were used by farmers to eliminate *Imperata cylindrica* prior to the establishment of cocoa plantations, i.e. cropping oil palms in dense stands and planting annual crops. Farmers then planted cocoa trees and fruit tree species, while preserving specific forest trees. The fruit tree and forest tree densities respectively averaged 223 and 68 trees ha⁻¹ in plantations under 10 years old, and 44 and 27 trees ha⁻¹ in plantations over 40 years old, whereas the cocoa tree density remained stable at 1,315 trees ha⁻¹. The Shannon-Weaver index increased from 1.97 to 2.26 over the same period. The soil organic matter level was 1.7% in grasslands and 3.13% in old cocoa plantations. In conclusion, our results show that the occupation of grasslands by cocoa agroforestry systems is both an important example of ecological intensification and a significant farmer innovation in the history of cocoa growing.

Key words: *Imperata cylindrica*, Sustainability assessment, Agrobiodiversity, Ecological intensification, Forest-savannah interface

1. Introduction

In Africa, cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivation is generally considered to be a major cause of deforestation in humid tropical areas since the trees are often planted on newly cleared forest land (Dixon et al. 2001). The expansion of cocoa plantations in Côte d'Ivoire, for instance, led to a reduction in the country's forest area from 13 million ha in 1960 to 3 million ha in 1990 (Hanak-Freud et al. 2000). The same pattern has been noted in Ghana, where it is estimated that 80% of the forest area has disappeared since cocoa trees were introduced (Cleaver 1992). In Cameroon, the role of cocoa cultivation in the deforestation process is not as clear since forests are generally only partially cleared for planting cocoa while many forest tree species are preserved in the resulting complex cocoa agroforestry systems (Duguma et al. 2001; Zapfack et al. 2002; Laird et al. 2007; Sonwa et al. 2007).

In the present study, we show that cocoa growing contributes to the process of afforestation of grasslands dominated by *Imperata cylindrica* in the forest-savannah transition area of central Cameroon. Published reports about afforestation in forest-savannah interface areas in Africa are relatively dated. In most situations, this process was due to the natural dissemination of forest tree species, as described by Boulvert (1990) in the Central African Republic, Clayton (1958) in Nigeria, Swaine et al. (1976) in Ghana, and Bonvallot et al. (1970) and Spichiger and Pamard (1973) in Côte d'Ivoire. Only a few cases of voluntary afforestation have been described in Togo (Guelly et al. 1993), Côte d'Ivoire (Blanc-Pamard and Peltre 1984) and Guinea (Fairhead and Leach 1996), where Robusta coffee-based agroforestry systems were planted, since this coffee cultivar is able to adapt to grassland soil and microclimatic conditions.

To our knowledge, only one case of afforestation involving cocoa trees has been reported in Indonesia (Ruf and Yoddang 2004), where farmers in central Sulawesi planted cocoa trees on *I. cylindrica* grasslands after conducting chemical weed control sprays and planting the leguminous tree *Gliricidia sepium* to eliminate the grass and temporarily shade the young cocoa trees. According to Wood and Lass (1985), grassland areas are theoretically unable to fulfil the ecological requirements of cocoa trees because of the insufficient and scattered rainfall conditions and low soil organic matter levels. According to Burle (1961), cocoa trees require 1,500 to 2,500 mm of water a year, with a dry season that has less than 3 consecutive months of below 70 mm. Sandy-clayey soils with over 3% organic matter in the topsoil are the most suitable soils for cocoa growing. However, such conditions do not prevail in the forest-savannah interface area in central Cameroon where the annual average rainfall is around 1,300 mm (Santoir and Bopda 1995). Champaud (1966) also demonstrated that this area is far north of the boundary of the ideal cocoa growing region in this country. Planting cocoa agroforestry systems on *I. cylindrica* grasslands in central Cameroon thus seems to contradict the opinion of agricultural experts.

Vieira et al. (2009), in their review article on the concepts of agroforestry systems and agro-successional restoration, highlighted the shortage of scientific literature on the description and analysis of agro-successional restoration examples in the world, especially in tropical areas. These authors also stated that both scientists and farmers involved in agroforestry should think about how agroforestry and restoration might be integrated in different situations. In central Cameroon, grassland cocoa agroforestry systems are an as yet undocumented example of this.

They represent unique agroecosystems that are the result of farmers' field experience with complex plant associations that evolve over time.

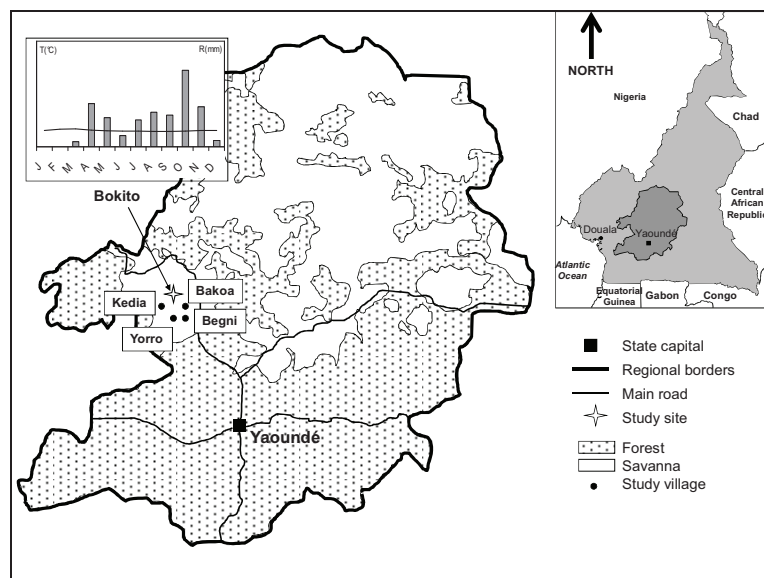
The objective of the present study was to document the gradual transformation of grasslands into cocoa agroforestry systems in the forest-savannah interface area of central Cameroon. Firstly, we checked the oldness of the cocoa plantations established on grasslands and we compared their cocoa yields to those of cocoa plantations in gallery forests. Secondly, we focused on the conditions required for establishing cocoa agroforestry systems on grasslands and farmers' management of the different associated stands of tree species. Finally, we assessed the agrobiodiversity and soil fertility in these systems using the Shannon-Weaver index and the total soil carbon content.

2. Materials and Methods

2.1. Study site

The study was carried out in the forest-savannah interface area in central Cameroon, around the villages of Bakoa, Begni, Yorro and Kedia in Bokito district: 4°30 latitude N and 11°10 longitude E; 450 to 500 m elevation (Fig. 1). The farmers were mainly indigenous ethnic Yambassa people. Bokito district (7,125 km²) is a patchwork of gallery forests occupied by cocoa agroforestry systems and grasslands dominated by *Imperata cylindrica*. Invasion of fields by *I. cylindrica* is a major farming constraint because this heliophytic weed quickly reappears as soon as the crop fields are insufficiently maintained or when the crop cover is sparse (Deuse and Lavabre 1979).

Fig. 1. Map showing the location of the study sites in central Cameroon



The forest-savannah interface area has a hot and humid climate with an average annual temperature of 25°C. Mean annual rainfall is 1,300 mm, which would represent a mean deficit of 200 mm relative to the annual water needs of cocoa trees.

The rainfall distribution is characterized by a dry season lasting over 3 months (December to March) during which the monthly rainfall is less than 70 mm (Santoir and Bopda 1995). In monocropped cocoa stands, these rainfall conditions would normally induce defoliation, which could be fatal to the trees (Burle 1961). Ferric Acrisols predominate in this area. The topsoil contains over 60% sand and less than 2% organic matter (Santoir and Bopda 1995), which are further constraints for cocoa trees (Burle 1961).

2.2. Experimental design, stakeholder survey data and measured data

In 2004, 339 cocoa plantations belonging to 282 farmers were randomly selected from lists of farmers belonging to local cocoa growers' organizations. We interviewed each of these farmers to collect the following data: year of establishment of each cocoa plantation (plantation age in years), vegetation cover before cocoa trees were planted (gallery forest or grassland), area and declared production for the three harvest seasons prior to the survey (2001, 2002, and 2003). The mean marketable cocoa yield of each cocoa plantation was calculated on the basis of the reported area and production data. Data were analysed according to seven cocoa plantation age (since creation) categories, which were defined in decades so as to be in line with the cocoa tree biological cycle: immature cocoa plantations under 10 years old; mature cocoa plantations: 11-20 years, 21-30 years, 31-40 years; senescent cocoa plantations: 41-50 years, 51-60 years, 61 years and over. We also interviewed village heads and elders about the different steps in the history of cocoa growing in the region.

A sub-sample of 47 grassland cocoa plantations was then randomly set up. In each of these 47 cocoa plantations, the cocoa stand density was measured by counting plants in a randomly located 100 m² square. All non-cocoa trees exceeding 1 m in height were inventoried over the total area of each cocoa plantation. We identified forest tree species, fruit tree species (exotic and indigenous) and oil palms. The species identifications were based on vernacular names in the Yambassa language and correspondences with the scientific names were established from the tree identification manuals of Vivien and Faure (1985) and Wilks and Issembé (2000). The agrobiodiversity level was estimated according to the Shannon-Weaver index (Krebs 1985). We asked each farmer to specify the origin of the inventoried trees, i.e. those that had grown naturally and had been preserved by the farmers and those they had introduced. We also questioned farmers about the way they managed stands of cocoa and other associated species over time. A composite soil sample was collected in the topsoil (0-20 cm) in each of the 47 grassland cocoa plantations and in 10 adjacent grassland plots to assess clay and carbon contents. Total carbon was analysed by the Walkley and Black method (Walkley and Black 1934).

Due to the small sub-sample size, the Shannon-Weaver index and the clay and carbon contents were analysed according to the three main stages of cocoa tree development: i) cocoa plantations less than 10 years old (17 plots totalling more than 6.5 ha), ii) mature cocoa plantations 10-40 years old (17 plots totalling more than 11.7 ha), iii) old cocoa plantations over 40 years old (13 plots totalling more than 17.2 ha).

2.3. Statistical analysis

Age, density, yield, Shannon-Weaver index, and soil carbon concentration were subjected to an analysis of variance (ANOVA) using a general linear model. Tests of significance between age categories of cocoa agroforests were performed using the Fisher test.

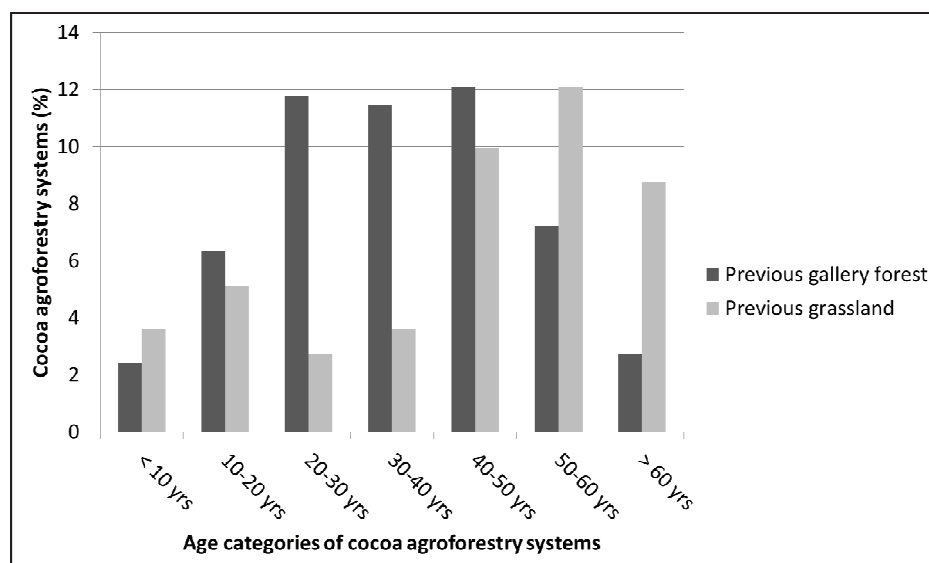
When significant differences were observed, the Newman-Keuls test was used to compare means between treatments.

3. Results

3.1. Age and yields of cocoa agroforestry systems on grasslands

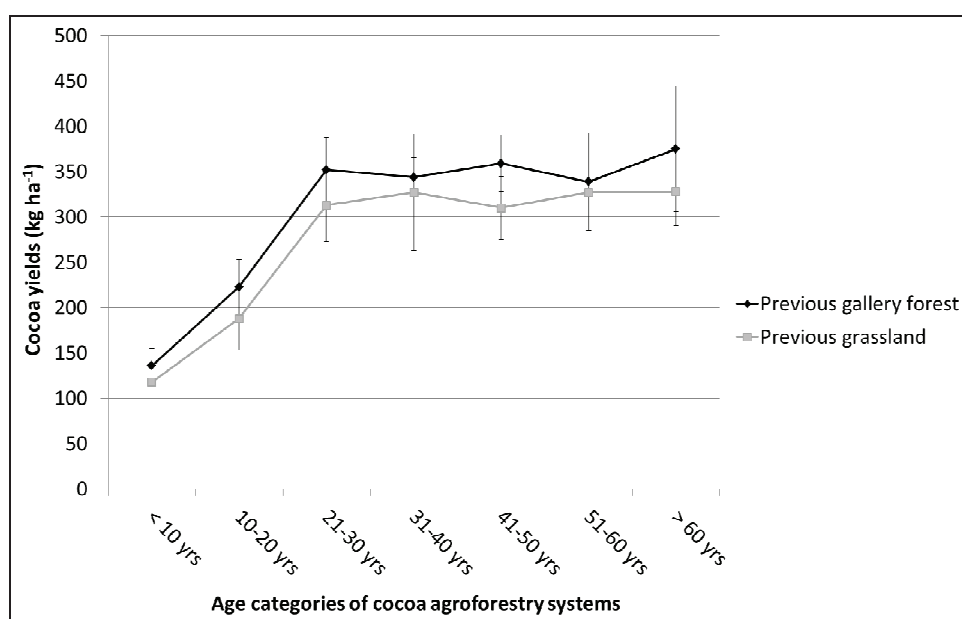
Out of the 339 cocoa plantations sampled, 46.3% (157 plantations) had been established on grasslands, while the rest were in gallery forests (182 plantations). Cocoa cultivation on grasslands appears to be a long-standing ongoing practice (Fig. 2): in the sample surveyed, the oldest cocoa plantations on grasslands had been reportedly planted in the first half of the twentieth century. According to the village heads and elders, cocoa growing had spread to grassland areas up until 1950 because gallery forests were traditionally off limits for development, i.e. they were preserved as refuge areas during tribal wars. As of the 1950s, cocoa growing began in gallery forests since it was no longer prohibited and based on recommendations by extension services to clear forest plots for cocoa growing. Since 1980, the reduction in the available gallery forest area led to new extensions on grasslands. Grassland cocoa plantations under 10 years old are now more common than cocoa plantations in gallery forests.

Fig. 2. Distribution of cocoa plantations in the forest-savannah interface area in central Cameroon by age classes and original vegetation: 182 cocoa agroforestry systems in forests, 157 cocoa agroforestry systems in grasslands (2004). Cocoa cultivation on grassland appeared to be a long-standing ongoing practice in the forest-savannah interface area in central Cameroon.



The marketable cocoa yield of grassland cocoa plantations was similar to that of gallery forest cocoa plantations, regardless of the plantation age (Fig. 3). After 20 years of cropping, it had levelled off at a mean of 321 kg ha⁻¹ for grassland cocoa plantations.

Fig. 3. Marketable cocoa yields of cocoa plantations in the forest-savannah interface area in central Cameroon by age classes and original vegetation (mean for 2001, 2002, and 2003). The marketable cocoa yield of grassland cocoa plantations was similar to that of gallery forest cocoa plantations, regardless of the plantation age.



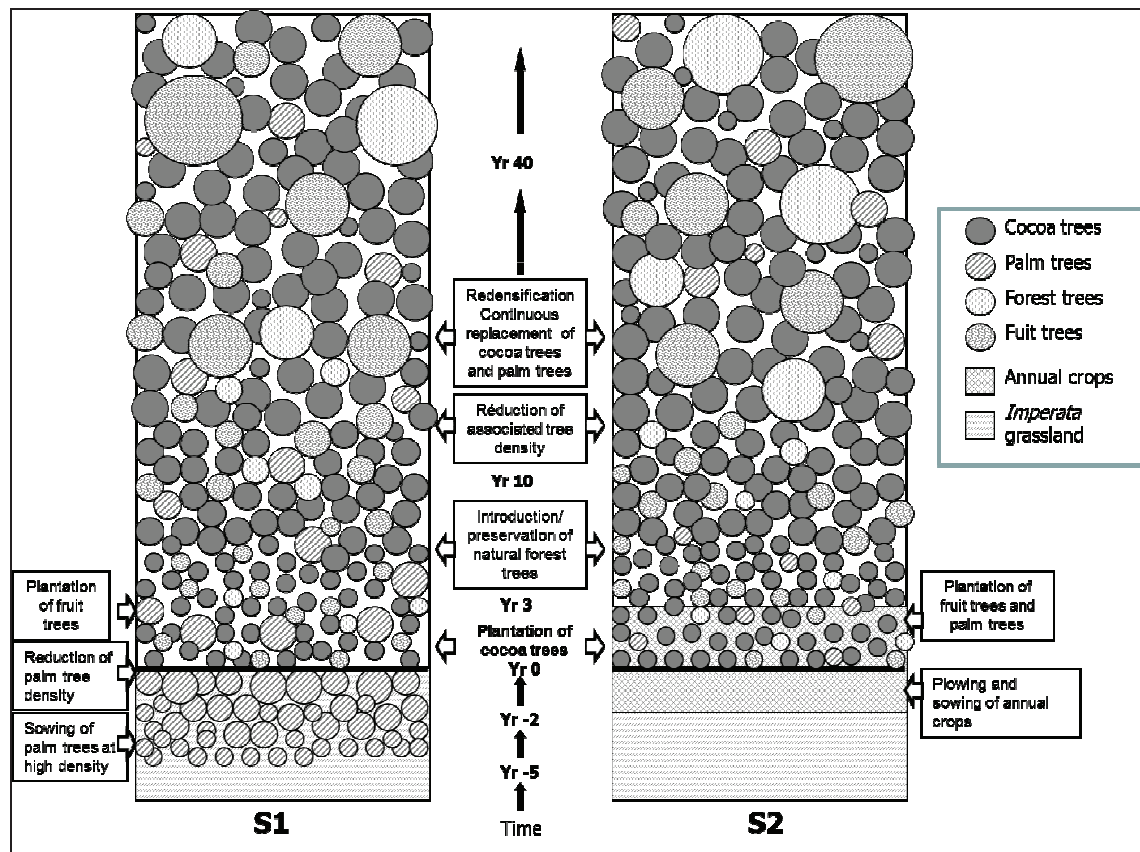
3.2. Strategies for setting up grassland cocoa agroforestry systems

Imperata cylindrica is a major constraint for all crops due to competition for water and nutrients. It is therefore essential to control this weed before establishing grassland cocoa plantations. Two different strategies for eliminating *I. cylindrica* prior to cocoa planting were identified: the first consists of sowing oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) trees in high-density stands, while the second consists of growing annual crops (Fig. 4) (planche photos 5).

With the first strategy, *I. cylindrica* is cleared from the plot within 6–8 years. The fast growth of the oil palm planted at high density (1,200 plants ha⁻¹) generates a dense cover within 4–5 years. *I. cylindrica* is then totally eliminated and farmers subsequently reduce the oil palm density to 50 palms ha⁻¹. During this felling operation, they plant cocoa trees at a density of 1,500 plants ha⁻¹, either by direct seeding in holes or by transplanting nursery plants. Fruit trees such as orange (*Citrus sinensis* L.), African plum (*Dacryodes edulis* (G Don) H.J. Lam), avocado (*Persea americana* Mill.) and cola (*Cola nitida* Vent.) are also planted alongside the cocoa trees for their production. The farmers also preserve some native forest tree species that have grown naturally in the plots, such as *Ceiba pentandra* L., *Erythrophleum ivorense* A. Chev. and *Milicia excelsa* Berg, for shade but also for their economic and fertilising potential. For 2–3 years following cocoa planting, the plot is still weeded manually until the crowns of cocoa trees and associated trees form a continuous dense canopy that will hamper natural regrowth of *I. cylindrica*.

I. cylindrica can be controlled quicker (within 4–6 years) using the second strategy. Farmers manually deep-till the plot and uproot the *I. cylindrica* plants to activate the weed control process. Then farmers successively sow short-cycle annual crops, including groundnut (*Arachis hypogaea* L.), pumpkin (*Cucumis mani* L.) and maize (*Zea mays* L.). After 2–3 years of intercrop successions such as groundnut-maize and pumpkin-maize, farmers plant cocoa at a density of 1,500 plants ha⁻¹, either by transplanting seedlings or by direct seeding when the previous annual crops are being uprooted. As for the first strategy, fruit trees and oil palms are planted along with the cocoa trees and some naturally growing forest trees are preserved. The young trees are associated with annual crops for another 2–3 years. The plots are weeded to control *I. cylindrica* regrowth until the tree canopy is closed.

Fig. 4. Temporal change in grassland cocoa agroforestry systems according to the *Imperata cylindrica* control strategy in central Cameroon: (S1) previous installation of high density oil palm stands; (S2) several successions of short-cycle annual crops. The proportion of different types of trees/oil palms associated with cocoa trees changed with time, and a balance was gradually reached in the old grassland cocoa plantations.



3.3. Agrobiodiversity and stand management

4,846 trees associated with cocoa trees and belonging to 67 different species were inventoried in the 47 grassland cocoa plantations (Table 1). Fruit trees represented 47.7% of the total tree population, oil palms 28.6% and forest trees 23.7%. Ten of the fruit tree species were exotic and seven were indigenous.

The cocoa trees and oil palm densities did not vary regardless of the cocoa plantation age, i.e. a mean of 1,315 cocoa trees and 48 oil palms per hectare (Table 2), whereas the associated fruit and forest tree species were significantly lower in the old cocoa plantations. The proportion of different types of trees/oil palms associated with cocoa trees thus changed with time, and a balance was gradually reached in the old cocoa plantations (Table 2). The Shannon-Weaver index of tree species associated with cocoa trees was 2.09 on average (Table 2). No significant difference between cocoa plantation age classes was noted, but this index tended to increase with the cocoa plantation age.

In the surveys, farmers explained how they managed the different stands over time. In young cocoa plantations, fruit trees were planted in high density stands to hamper rapid weed invasion and to obtain suitable shading conditions for the cocoa trees. Young forest trees could also be transplanted in the plots if farmers estimated that there were not enough of them growing naturally. 25% of the forest trees inventoried were thus the result of transplantation of plantlets picked up in nearby gallery forests. The farmers then maintained shading conditions suitable for cocoa tree growth while compensating for the growth of associated trees by eliminating excess trees—they ring-barked these trees so that they would wilt gradually, thus avoiding damage to the understorey cocoa trees. The oil palm density was stable because farmers replaced felled oil palm for palm wine production. Similarly, diseased or dead cocoa trees were always replaced.

3.4. Clay and soil carbon contents

No significant difference between cocoa plantation age classes and the adjacent grassland plots was noted for the clay content. Ten year old cocoa plantations on grassland soils had significantly higher topsoil carbon concentration (2.25%) than adjacent grassland soils (1.70%) (Table 3). The top soil carbon concentration was significantly higher in plantations more than 40 years old (3.12%) than in plantations under 10 years old. In our surveys, farmers confirmed that they did not apply any type of fertilizer (organic or chemical) in their plantations.

4. Discussion

In central Cameroon, afforestation of grasslands by installing cocoa agroforestry systems is a new example of an agro-successional strategy to restore infertile degraded ecosystems, in line with initiatives reported in other countries (Vieira et al. 2009). Farmers in this region have developed innovative strategies for eliminating *I. cylindrica*, which necessarily has to be controlled before being able to use grasslands for agriculture (Deuse and Lavabre 1979). To control *I. cylindrica*, these authors suggested using cover plants such as *Mucuna* sp., *Centrosoma* sp. or *Pueraria* sp. or planting leguminous shade trees, such as the many species mentioned by Macdicken et al. (1997). In Indonesia, farmers controlled *I. cylindrica* by combining a herbicide treatment and planting of *Gliricidia sepium* 2 years prior to planting cocoa trees (Ruf and Yoddang 2004). Farmers at our research site in Cameroon, in contrast, eliminated *I. cylindrica* by planting dense crop stands, thereby generating additional revenue while preparing the site for the cocoa trees.

The fact that farmers preserved some natural forest tree species in grassland cocoa plantations for their contribution in the soil fertility status, especially *Ceiba pentandra* (L.), *Milicia excelsa* (Welw.) Berg., *Ficus mucoso* Ficalho, Beauv., and *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) Pierre ex Heckel is also evidence of their observation capacity and the experience they had acquired.

Moreover, in this area, Bidzanga et al. (2009) showed no major difference between rankings based on these species' mycotrophy and farmers' classification of these species according to their fertilising potential. In Ghana, Anim-Kwapong and Osei-Bonsu (2009) highlighted the advantages of certain native non-leguminous tree species such as *Newbouldia laevis* Seem. ex Bureau, *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) Pierre ex Heckel, and *Spathodea campanulata* P., for improving the soil quality in infertile ecosystems. These authors also recommended these species for the rehabilitation of old cocoa plantations in Ghana.

In Cameroon, the establishment of cocoa agroforestry systems on *I. cylindrica* grasslands by farmers, and their efficient management of different tree stands so as to maintain shading conditions that they considered optimal for cocoa tree growth, showed that it is possible to overcome some local constraints, e.g. the presence of *I. cylindrica*, water deficit and irregular rainfall distribution, and poor soil fertility. While climatic change is one of the primary concerns for agriculture, requiring researchers to look for potential adaptations for crop production, including in Cameroon (Tingem et al. 2009), farmers' practices to establish viable cocoa plantations on grasslands at our research site could be also considered as a possible answer to adapt cocoa cultivation to a future drier climate in Africa.

Without chemical or organic fertilization, the topsoil organic matter content, which was 1.7% in the grassland plots, increased with the cocoa plantation age. Our mean levels, i.e. 2.82% in mature cocoa plantations and 3.13% in old plantations, were in agreement with the 3% value obtained by Glatard et al. (2007) under cocoa plantations established on grasslands in the same area. They were also close to the 4.1–4.7% values mentioned by Duguma et al. (2001) in mature cocoa plantations set up in forest areas in central and southern Cameroon. However, we did not observe the decrease in soil organic carbon noted by Snoeck et al. (2010) in young cocoa plantations set up after forest clearing in the same areas. In grasslands, this lack of depressive effect of soil organic carbon, as also observed in cocoa plantations installed on fallow lands, could be explained by the very low soil carbon content before cocoa planting. Our results confirmed the clear advantages of cocoa agroforestry systems in improving the environment for soil biological processes which affect litter composition and nutrient cycling. These advantages have already been revealed in many studies (Schroth et al. 2001; Barrios and Cobo 2004; Isaac et al. 2005; Tapia Coral et al. 2005; Dawoe et al. 2010).

The marketable cocoa yield of grassland cocoa agroforestry systems (mean 321 kg·ha⁻¹ after 20 years) was equivalent to that of cocoa plantations in nearby gallery forests and close to yields observed in forest areas in central and southern Cameroon, i.e. 264–500 kg·ha⁻¹ depending on the intensification level (Duguma et al. 2001). This is evidence of the effectiveness of this local cocoa growing practice under low-input conditions, although the question as to whether these systems are capable of higher yields with higher inputs and under more intensive management would require further research, especially on ecological interactions between species, combining both agronomic and ecological concepts and tools (Malézieux et al. 2009; Wesel et al. 2009).

The agrobiodiversity level of grassland cocoa plantations in central Cameroon was indicated by the 2.07 Shannon-Weaver index, which was lower than the values mentioned by Sonwa et al. (2007) for cocoa plantations in forest areas in central and southern Cameroon, i.e. 3.1–3.9 and those obtained by Zapfack et al (2002) in the same areas, i.e. 4.39. However, it was similar to that obtained by Oke and Odebiyi (2007) in cocoa agroforestry systems in Nigeria (2.7), by Asare and Tetteh in cocoa agroforestry systems in Ghana (2.6) and by Salgado-Mora et al. (2007) in cocoa agroforestry systems in Mexico (2.7–2.9). Since these studies were all carried out in forest ecosystems, where it is to be expected that species diversity indices would be higher than ours in a forest-savanna transition zone. However, the same long-term dynamics of the agrobiodiversity level were observed in Ghana by Isaac and Dawoe (2009).

Our study showed that the expansion of grassland cocoa growing in the forest-savannah interface area in central Cameroon is a long-standing trend, concomitant to the development of cocoa growing in forest areas of central and southern Cameroon, where most cocoa plantations had been set up between the 1930s and the 1960s after forest clearing (Champaud 1966). Despite a population density of around 27–30 inhabitants km² (Santoir and Bopda 1995) and an apparent abundance of land resources, the current increase in cocoa agroforestry systems in grassland areas raises several questions. These grasslands, which have been collectively managed by villagers until present, are traditionally used for shifting food crop cultivation based on a system of fallows of at least 5 years, which is very land consuming (Filipski et al. 2007). The installation of cocoa plantations leads to individual appropriation of land and a change in the land rights system. This grassland appropriation pattern could ultimately lead to a shortage of land for growing annual food or cash crops, with a risk of reducing soil fertility in the land used for food cropping and increasing social tension. The social impacts of this type of grassland afforestation should thus be assessed.

5. Conclusion

In the forest-savannah interface area in central Cameroon, the afforestation of *Imperata cylindrica* grasslands with complex cocoa agroforestry systems is a farmer innovation that challenges the expert advice of agronomists and constitutes a striking example of ecological intensification by local farmers. It is also an original trend in the history of cocoa growing, which has been historically linked with the clearing of humid tropical forests. This process of setting up cocoa agroforestry systems integrates empirical knowledge and practices derived from farmers' experience, while also being a social adaptation in an ecosystem that is not very suitable for cocoa growing. Moreover, this process confirms the potential resilience of cocoa cultivation and farmers face to the current fears that cocoa production in West and Central Africa may suffer from a drier future climate. Finally, this process shows that cocoa cultivation—which is often considered to be a deforestation driving force—can, conversely, be a reforestation agent in areas that until now have been considered to have unsuitable soil-climate conditions for growing this crop.

Acknowledgements

The authors would like to thank all institutions that facilitated this study: the Institut de recherche agricole pour le développement (IRAD) and the Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), in the framework of the 'Grand Sud Cameroun' research platform in partnership (PCP), and the two projects, i.e. 'Development of competitive and sustainable cocoa growing systems in Africa' and 'Strengthening agricultural research partnerships in Cameroon', funded by the French Ministry of Foreign Affairs. The authors thank Cécile Fovet-Rabot from CIRAD for her critical proofreading.

References

- Anim-Kwapong GJ, Osei-Bonsu K (2009) Potential of natural and improved fallow using indigenous trees to facilitate cacao replanting in Ghana. *Agrofor Syst* 76:533–542. Doi: 10.1007/s10457-008-9196-4
- Asare A, Tetteh DA (2010) The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agrofor Syst* 79:355–368. Doi: 10.1007/s10457-010-9311-1
- Barrios E, Cobo JG (2004) Plant growth, biomass production and nutrient accumulation by slash/mulch agroforestry systems in tropical hillsides of Colombia. *Agrofor Syst* 60:255–265. Doi: 10.1023/B:AGFO.0000024418.10888.f4
- Bidzanga N, Fotsing B, Agoume V, Birang AM, Onguene AN, Zapfack L (2009) Mycotrophie et connaissances paysannes des essences fertilitaires dans les agroforêts à base de cacaoyers du Sud Cameroun. *Cameroon J Exp Biol* 5:79–86
- Blanc-Pamard C, Peltre P (1984) Dynamique des paysages préforestiers et pratiques culturelles en Afrique de l'Ouest, Côte d'Ivoire. In: *Le développement rural en question*. Orstom, Paris, pp 55–67
- Bonvallot J, Dugerdil M, Duviard D (1970) Recherches écologiques dans la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) : répartition de la végétation dans la savane pré-forestière. *La terre et la vie - Revue d'écologie* 70:3–21
- Boulvert Y (1990) Avancée ou recul de la forêt centrafricaine, changements climatiques, influence de l'Homme et notamment des feux. In: Lanfranchi R, Schwartz D (Eds), *Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale atlantique*. Orstom, Paris, pp 353–366
- Burle L (1961) *Le cacaoyer*. Tome premier. Larose, Paris
- Champaud J (1966) L'économie cacaoyère du Cameroun. *Cah Orstom (Sci hum)* 3:105–124
- Clayton WD (1958) Secondary vegetation and the transition to savannah near Ibadan, Nigeria. *J Ecol* 46:217–238

- Cleaver K (1992) Deforestation in the western and central African rainforest: the agricultural and demographic causes, and some solutions. In: Cleaver K, Munasinghe M, Dyson M, Egli N, Penker A, Wencelius F (Eds). Conservation of west and central African rainforests. The World Bank/International Union for the Conservation of Nature, Washington, pp 65–78
- Dawoe EK, Isaac M, Quashie-Sam J (2010) Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. *Plant Soil* 330:55–64. Doi: 10.1007/s11104-009-0173-0
- Deuse J, Lavabre EM (1979) Le désherbage des cultures sous les tropiques. Maisonneuve et Larose, Paris
- Dixon J, Gulliver A, Gibbon D (2001) Farming Systems and Poverty. Improving farmers livelihoods in a changing world. FAO, Rome
- Duguma B, Gockowski J, Bakala J (2001) Smallholder cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agrofor Syst* 51:177–188. Doi: 10.1023/A:1010747224249
- Fairhead J, Leach M (1996) Misreading the African landscape: society and ecology in a forest-savanna mosaic (African studies). University Press, Cambridge
- Filipski M, Colin JP, Seignobos C (2007) Emergence et évolution des droits de propriété dans un contexte d'abondance foncière. Le cas du pays Yambassa (Cameroun). *Cah Agric* 16:387–393. Doi: 10.1684/agr.2007.0129
- Guelly KA, Roussel B, Guyot M (1993) Installation d'un couvert forestier dans les jachères de savane au Sud-Ouest Togo. *Bois et Forêt des Tropiques* 235:37–48
- Glatard F, Enjalric F, Jagoret P (2007) Characterization and assessment of Cocoa based agroforestry cropping systems in Cameroon according to site conditions and fertility management. Second International Symposium on Multi-strata agroforestry Systems with Perennial Crops, 17-21/9/2007, CATIE, Turrialba
- Hanak-Freud E, Petithuguenin P, Richard J (2000) Les champs du cacao. Un défi de compétitivité Afrique-Asie. Karthala, Paris
- Isaac ME, Gordon AM, Thevathasan N, Oppong SK, Quashie-Sam J (2005) Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agrofor Syst* 65:23–31. Doi: 10.1007/s10457-004-4187-6
- Isaac ME, Dawoe E (2009) Integrative management of cocoa agroforestry systems: promoting long-term on-farm diversity. *J Sci Tech* 29:26–33

- Krebs CJ (1985) Species diversity. In: Krebs CJ (Ed.), Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Harper and Row, New York, pp 507–534
- Laird SA, Awung GL, Lysinge RJ (2007) Cocoa farms in the Mount Cameroon region: biological and cultural diversity in local livelihoods. *Biodivers Conserv* 16:2401–2427. Doi: 10.1007/s10531-007-9188-0
- Macdicken KG, Hairiah K, Otsamo A, Duguma B, Majid NM (1997) Shade-based control of *Imperata cylindrica*: trees fallows and cover crops. *Agrofor Syst* 36:131–149. Doi: 10.1007/BF00142871
- Malézieux R, Crozat Y, Dupraz C, Laurans M, Makowski D, Ozier-Lafontaine H, Rapidel B, de Tourdonnet S, Valantin-Morison M (2009) Mixing plant species in cropping systems : concepts, tools and models. A review. *Agron Sustain Dev* 29:43–62. Doi 10.1051/agro:2007057
- Oke DO, Odebiyi KA (2007) Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agric Ecosyst Environ* 122:305–311. Doi:10.1016/j.agee.2007.01.022
- Ruf F, Yoddang (2004) Replanting after *Imperata cylindrica*, in: Ruf F., Lançon F. (Eds), From Slash and Burn to Replanting. Green Revolutions in the Indonesian Uplands. World Bank, Washington, pp 193–210
- Salgado-Mora MG, Ibarra-Núñez G, Macías-Sámano JE, López-Báez O (2007) Diversidad arbórea en cacaotales des Soconusco, Chiapas, México, *Interciencia* 32:763–768
- Schroth G, Lehmann J, Rodrigues MRL, Barros E, Macêdo JLV (2001) Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agrofor Syst* 53:85–102. Doi: 10.1023/A:1013360000633
- Santoir C, Bopda A (1995) Atlas régional Sud-Cameroun. Orstom, Paris
- Snoeck D, Abolo D, Jagoret P (2010) Temporal changes in VAM fungi in the cocoa agroforestry systems of central Cameroon. *Agrofor Syst* 78:323–328. Doi: 10.1007/s10457-009-9254-6
- Sonwa DJ, Nkongmeneck AB, Weise SF, Tchatat M, Adesina AA, Janssens MJ (2007) Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodivers Conserv* 16:2385–2400. Doi: 10.1007/s10531-007-9187-1
- Spichiger R, Pamard C (1973) Recherches sur le contact forêt-savane en Côte d’Ivoire : Etude du recrû forestier sur des parcelles cultivées en lisière d’un îlot forestier dans le sud du pays Baoulé. *Candollea* 28:21–37
- Swaine MD, Hall JB, Lock JM (1976) The forest-savannah boundary in West-Central Ghana. *Ghana Journal of Sciences* 16:35–52

- Tapia Coral SC, Luizão FJ, Wandelli E, Fernandes ECM (2005) Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. *Agrofor Syst* 65:33–42. Doi: 10.1007/s10457-004-5152-0
- Tingem M, Rivington M, Bellocchi G (2009) Adaptation assessments for crop production in response to climate change in Cameroon. *Agron Sustain Dev* 29:247–256. Doi 10.1051/agro:2008053
- Vieira DL, Holl KD, Peneireiro F (2009) Agro-Successional Restoration as a Strategy to Facilitate Tropical Forest Recovery. *Restor Ecol* 17:451–459. Doi: 10.1111/j.1526-100X.2009.00570.x
- Vivien J, Faure JJ (1985) Arbres des forêts denses d’Afrique centrale. Agence de coopération culturelle et technique, Paris
- Walkley A, Black LA (1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37:29–38
- Wesel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C. (2009) Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron Sustain Dev* 29:503–515. Doi 10.1051/agro/2009004
- Wilks C, Issembé Y (2000) Guide pratique d’identification. Les arbres de la Guinée équatoriale. Région continentale. Projet Curaf, Malabo
- Wood GAR, Lass RA (1985) Cocoa. Longman Scientific and Technical, New York
- Zapfack L, Engwald S, Sonke B, Achoundong G, Birang AM (2002) The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. *Biodivers Conserv* 2:2047–2061. Doi: 10.1023/A:1020861925294

Table 1. Tree species associated with cocoa trees (47 grassland cocoa agroforestry systems, 35.4 ha, central Cameroon)

Scientific name	Family	Group*	Number	%
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Arecaceae	P	1,374	28.4
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Rutaceae	FrE	951	19.6
<i>Dacryodes edulis</i> (G. Don) H. J. Lam	Burseraceae	FrI	425	8.8
<i>Citrus</i> sp.	Rutaceae	FrE	208	4.3
<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	FrE	201	4.1
<i>Ceiba pentandra</i> (L.)	Bombacaceae	Fo	192	4.0
<i>Cola nitida</i> (Vent.) Schott & Endl.	Sterculiaceae	FrI	160	3.3
<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	FrE	151	3.1
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C. C. Berg.	Moraceae	Fo	129	2.7
<i>Erythrophleum ivorense</i> A. Chev.	Caesalpiniaceae	Fo	125	2.6
<i>Newbouldia laevis</i> Seem. Ex Bureau	Bignoniaceae	Fo	85	1.8
<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.	Sterculiaceae	Fo	72	1.5
<i>Ficus mucoso</i> Ficalho	Moraceae	Fo	55	1.1
<i>Albizia adianthifolia</i> (Schumach.) W. Wight	Mimosaceae	Fo	54	1.1
<i>Carapa procera</i> Dc.	Meliaceae	Fo	54	1.1
<i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baill.) Pierre ex Heckel	Euphorbiaceae	FrI	41	< 1
<i>Citrus limon</i>	Rutaceae	FrE	38	< 1
<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl.	Burseraceae	FrI	35	< 1
<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth.	Mimosaceae	Fo	32	< 1
<i>Voacanga africana</i> Stapf	Apocynaceae	FrI	32	< 1
<i>Psychotria</i> sp.	Rubiaceae	Fo	29	< 1
<i>Cordia platythyrsa</i> Baker	Boraginaceae	Fo	28	< 1
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Bignoniaceae	Fo	25	< 1
<i>Vitex grandifolia</i> Gürke	Verbenaceae	Fo	25	< 1
<i>Cola millenii</i> K. Schum.	Sterculiaceae	Fo	24	< 1
<i>Ficus</i> sp.	Moraceae	Fo	23	< 1
<i>Citrus grandis</i> (L.) Osbeck	Rutaceae	FrE	19	< 1

<i>Ficus Sur</i> Forsk.	Moraceae	Fo	17	< 1
<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	FrE	17	< 1
<i>Spondias cytherea</i> Sonn.	Anacardiaceae	FrE	17	< 1
<i>Allophyllus africanus</i> P. Beauv.	Sapindaceae	Fo	15	< 1
<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl.	Sterculiaceae	Fo	15	< 1
<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry-Lecomte ex O'Rorke) Baill.	Irvingiaceae	FrI	13	< 1
<i>Angylocalyx pynaertii</i> de Wild.	Papillonaceae	Fo	13	< 1
<i>Musanga cecropioides</i> R. Br.	Cecropiaceae	Fo	10	< 1
<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A. Rich.) Engl.	Anacardiaceae	Fo	10	< 1
<i>Azelia pachyloba</i> Harms	Caesalpiniaceae	Fo	9	< 1
<i>Fagara heitzii</i> Aubrév. & Pellegr.	Rubiaceae	Fo	7	< 1
<i>Guibourtia tessmannii</i>	Caesalpiniaceae	Fo	7	< 1
<i>Hevea brasiliensis</i> (A. de Juss.) Müll. Arg.	Apocynaceae	Fo	7	< 1
<i>Lannea welwitschii</i> (Hiern) Engl.	Anacardiaceae	Fo	7	< 1
<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Warb	Myristicaceae	Fo	7	< 1
<i>Annona muricata</i> L.	Annonaceae	FrE	6	< 1
<i>Ficus exasperata</i> Vahl.	Moraceae	Fo	6	< 1
<i>Gambeya lacourtiana</i>	Sapotaceae	Fo	6	< 1
<i>Tetrapleura tetraptera</i> (Schumach. & Thonn.) Taub.	Mimosaceae	Fo	6	< 1
<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague) Sprague	Meliaceae	Fo	5	< 1
<i>Piptadeniastrum africanum</i> (Hook.f.)	Mimosaceae	Fo	5	< 1
<i>Pterocarpus soyauxii</i> Taub.	Papillonaceae	Fo	5	< 1
<i>Trilepisium madagascariensis</i>	Moraceae	Fo	5	< 1
<i>Uapaca guineensis</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae	Fo	5	< 1
<i>Borassus aethiopum</i>	Rutaceae	Fo	4	< 1
<i>Bridelia micrantha</i> (Hochst.) Baill.	Euphorbiaceae	Fo	4	< 1
<i>Cocos nucifera</i>	Rutaceae	FrE	4	< 1
<i>Dracena arborea</i> (Wild.) Link	Agavaceae	Fo	4	< 1
<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	Combretaceae	Fo	4	< 1
<i>Ficus vogelii</i> Miq.	Moraceae	Fo	3	< 1

<i>Macaranga barteri</i> Mull. Agr.	Euphorbiaceae	Fo	3	< 1
<i>Terminalia ivorensis</i> Engl. & Diels	Combretaceae	Fo	3	< 1
<i>Artocarpus altilis</i> J.R.Forst. & G.Forst.	Moraceae	Fo	2	< 1
<i>Baillonella toxisperma</i> Pierre	Sapotaceae	Fo	2	< 1
<i>Anthocleista vogelii</i> Planch.	Loganiaceae	Fo	1	< 1
<i>Dacryodes macrophylla</i> (Oliv.) H. J. Lam.	Burseraceae	Fo	1	< 1
<i>Elaeophorbium drupifera</i> (Thonn.) Stapf.	Euphorbiaceae	Fo	1	< 1
<i>Garcinia afzelii</i> Engl.	Clusiaceae	Fo	1	< 1
<i>Garcinia kola</i> Heckel	Clusiaceae	FrI	1	< 1
<i>Tectona grandis</i> L.	Verbenaceae	Fo	1	< 1
Total			4 846	

Group*: P = palm; FrE = exotic fruit tree species; FrI = native fruit tree species; Fo = forest tree species

Table 2. Tree stand composition and Shannon-Weaver index according to the cocoa plantation age: density of cocoa trees and associated tree species (\pm SD of the mean) (47 grassland cocoa agroforestry systems, central Cameroon)

Age of cocoa agroforestry systems	Cocoa	Oil Palm		Fruit trees		Forest trees		Shannon-Weaver index
	Density (trees ha ⁻¹)	Density (trees ha ⁻¹)	% of total	Density (trees ha ⁻¹)	% of total	Density (tree ha ⁻¹)	% of total	
< 10 years	1,428 (± 127) a	50 (± 15) a	15	223 (± 54) a	65	68 (± 11) a	20	1.97 (± 0.50) a
10-40 years	1,274 (± 87) a	50 (± 15) a	29	89 (± 16) b	52	32 (± 4) b	19	2.09 (± 0.30) a
> 40 years	1,242 (± 35) a	44 (± 13) a	38	44 (± 6) b	38	27 (± 3) b	23	2.26 (± 0.36) a

Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.01$, Newman-Keuls test)

Table 3. Clay and organic matter content (\pm SD of the mean) in topsoil (0-20 cm horizon) in 10 grassland plots and in 47 grassland cocoa plantations according to their age (central Cameroon)

Age of cocoa agroforestry systems	Clay content (%)	Organic matter content (%)
Grassland (control)	18.8 (\pm 0.81) a	1.70 (\pm 0.09) c
< 10 years	17.5 (\pm 0.55) a	2.25 (\pm 0.18) b
10-40 years	17.8 (\pm 1.58) a	2.82 (\pm 0.16) ab
> 40 years	19.3 (\pm 1.61) a	3.13 (\pm 0.37) a

Values followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.01$, Newman-Keuls test).

Chapitre 3

Chapitre 3 : Quelle est la valeur d'usage accordée par les agriculteurs aux différentes espèces qui constituent les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ?

Ce travail répond à notre troisième question de recherche. Notre objectif est de définir le rôle et la valeur d'usage des espèces forestières et fruitières associées aux cacaoyers. La valeur d'usage que les agriculteurs attribuent à ces différentes espèces varie selon les zones, le cacaoyer étant l'espèce-pivot dont la valeur d'usage est la plus élevée.

Ce travail est présenté sous la forme d'un article intitulé « *Farmers' assessment of the use of agrobiodiversity in plurispecific systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon* » que nous avons soumis à la revue *Biodiversity and Conservation*.

Farmers' assessment of the use and value of agrobiodiversity in plurispecific systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon

P. Jagoret¹⁻², J. Kwesseu²⁻³, C. Messie²⁻³, I. Michel-Dounias⁴⁻⁵, E. Malézieux⁶

¹ CIRAD, UPR Systèmes de pérennes, F- 34398 Montpellier cedex 5, France

² IRAD-Nkolbisson, BP 2572, Yaoundé, Cameroon

³ Université de Dschang, FASA, BP. 222, Dschang, Cameroun

⁴ UMR 951 Innovation Montpellier Supagro INRA CIRAD, Campus de la Gaillarde, 2 place Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France

⁵ Institut des Régions Chaudes, 1101, avenue Agropolis, BP 5098 34093 Montpellier Cedex 05, Montpellier, France

⁶ CIRAD, UPR HortSys, F- 34398 Montpellier cedex 5, France

Abstract

Agroforestry systems (AFS) in humid tropical areas are complex multispecies cropping systems whose overall roles and performances are often hard to assess. We present the findings of a participatory assessment of these systems based on the relative use value attributed by the farmer to each species of the system. A tree inventory in 50 cocoa agroforests was carried out in the forest-savanna transition zone and in two forest zones of central Cameroon. Overall, 122 non-cocoa tree species were inventoried. The mean species richness was 23 species per plot and the mean Shannon index was 2.42, for a mean density of 180 non-cocoa trees ha⁻¹ and 1,511 cocoa trees ha⁻¹. The pebble distribution method was used to quantify the value given by farmers to each species according to the attributed uses. Cocoa farmers defined seven different uses for tree species, including *Theobroma cacao*. The highest use value was given to *Theobroma cacao*, with a mean score of 23.6%. Then, in descending order, the 10 non-cocoa species with the highest use values were *Dacryodes edulis*, *Persea americana*, *Elaeis guineensis*, *Citrus sinensis*, *Mangifera indica*, *Milicia excelsa*, *Cola nitida*, *Citrus* sp., *Ricinodendron heudelotii*, and *Terminalia superba*. The frequency of non-cocoa species was significantly and positively correlated with their use value ($R^2 = 0.914$). Our results showed that technical innovations designed to improve agroforestry systems should account for their farmer-induced complexity.

Key words: Agroforestry system, indigenous knowledge, participatory tool, pebble distribution method, natural resource management, *Theobroma cacao* L.

1. Introduction

The major challenge facing global agriculture is to be able to feed an ever increasing human population, and to provide energy and biomaterials while preserving natural resources (Griffon 1999; Tilman et al. 2002; World Bank 2007). In the current setting, including the food crisis, climate change and the reduction in area available for agriculture, agroforestry systems (AFS) seem to be a viable alternative and in line with the Millennium Development Goals with respect to combating poverty in the world (Garritty 2004). However, due to their high complexity, little is known about the overall functioning of these cropping systems, which are based on associations of perennial tree species. They are also much harder to assess than monocrop-based cropping systems (Vandermeer 1989).

Of all agroforestry systems, those based on cocoa (*Theobroma cacao* L.) are of special interest since cocoa growing is generally considered as a key factor leading to deforestation in the tropics (Dixon et al. 2001). Cocoa agroforests are found in Asia, Latin America and Africa. Those best described in the literature are located in Indonesia (Jurhbandt et al. 2010), Mexico (Salgado-Mora et al. 2007) and Brazil, where they are referred to as *cabruças* (Ruf and Schroth 2004), as well as Ghana (Asare and Tetteh 2010), Nigeria (Oke and Odebiyi 2007) and Cameroon (Duguma et al. 2001; Laird et al. 2007). Cocoa trees are the main constituent of these systems and are associated with other woody tree species that farmers value and use according to their needs and knowledge of the environment.

Technical innovations offered to farmers to improve cocoa production in these agroforests are generally designed by researchers striving to optimize biophysical relationships with one or two species associated with the cocoa trees (Osei-Bonsu et al. 2002; Zuidema et al. 2005; Hartemink 2005). The introduction of species with a high economic potential, such as *Dacryodes edulis*, *Garcinia kola*, and *Irvingia gabonensis*, has also been proposed (Mollet et al. 1995; Ayuk et al. 1999a; Ayuk et al. 1999b; Schreckenbergh et al. 2002; Leakey and Tchoundjeu 2001; Degrande et al. 2006). However, some technical innovations have conflicting objectives, such as preserving biodiversity while reducing shade in the vicinity of cocoa trees so as to boost cocoa yields (Franzen and Borgerhoff Mulder 2007). To ensure the relevance of these technical innovation initiatives, it is essential to carry out an accurate quantitative assessment of the sustainable services and production levels of these cocoa agroforests (Leakey 1998; Sonwa et al. 2002; Franzen and Borgerhoff Mulder 2007).

Pollini (2009), in his review article on the reasons underlying the successes and failures of alternatives to slash-and-burn cultivation, stated that there is a shortage of scientific literature on indigenous knowledge to improve these complex systems. He concluded that the low rate of farmers' adoption of proposed innovations is likely due to the fact that farmers are seldom involved in the development of these innovations. This author also highlighted the excessive implementation of modelling approaches to the detriment of holistic studies about farmers' knowledge. Moreover, Martin et al. (2010) pointed out that traditional ecological knowledge and know-how should be taken into account in developing new agricultural production models so as to take current challenges facing societies into account.

In central Cameroon, cocoa cropping is based on an agroforestry system in which cocoa trees are always grown in association with forest or fruit tree species that farmers preserve when the forest is felled. Cocoa trees are subsequently planted in the cleared areas (Duguma et al. 2001; Carrière 2002). Cocoa agroforests created in this way are multispecies/multistrata stands of high environmental, social and economic value (Kotto-Same et al. 1997; Gockowski and Dury 1999; Leakey and Tchoundjeu 2001; Ruf and Schroth 2004; Bisseleua et al. 2009). The species present and some of their uses have been determined through tree inventories (Zapfack et al. 2002; Sonwa et al. 2007). Many of these species, while providing shading for cocoa trees, produce a broad range of products (fruits, wood, leaves, bark, etc.) that farmers may market or not and which enhance the self-sufficiency and diets of farm households, while also providing medicinal products, timber and income for farmers.

These studies, however, generate little information on the use value that farmers attribute to the different species associated with cocoa, so no overall assessment of these cocoa agroforests is possible on the basis of these studies, nor do the findings reveal the respective roles of each species present. We focused on the use and value for farmers of each tree species of these agroforestry systems so as to improve their global assessment. Tree inventories were first conducted in 50 cocoa agroforests located in the forest-savanna transition zone and in two forest zones of central Cameroon. Farmers who harvested these cocoa agroforests then quantified the value of species present in the stands on the basis of their uses. We instructed them to apply a simple scoring procedure that we adapted from the pebble distribution method used by Sheil et al. (2004) in Indonesia.

2. Material and methods

2.1. Study site and sampling

The study was carried out in 2009 and focused on cocoa growing areas in central Cameroon: Bokito (4°35'N; 11°8'E), Zima (4°7'N; 11°25'E) and Ngomedzap (3°16'N; 11°14'E), representative of the north-south gradient in natural conditions in this region. Central Cameroon is located between 2.1° to 5.8° N and 10.5° to 16.2° E, at 600-800 m elevation. The climate is hot and humid, with an average annual temperature of 25°C (Santoir and Bopda 1995). It is divided into two distinct wet and dry seasons that vary in duration from north to south (bimodal rainfall regime). The average total annual rainfall is around 1,400 mm in Bokito, 1,600 mm in Zima and 1,800 mm in Ngomedzap. The main dry season lasts 5 months in Bokito (mid-November to mid-April) and 3 months in Ngomedzap (mid-November to mid-February). Bokito is located in the forest-savanna transition zone where there is low land pressure (29 inhab. km⁻²), characterized by a patchwork of forest galleries and herbaceous and sedge savannas on rejuvenated slightly desaturated soils. Zima is located in a forest zone with considerable human activity (111 inhab. km⁻²), where the vegetation is influenced by forest clearing and tree cropping on moderately desaturated ferrallitic soils. Ngomedzap is located in the forest zone where there is low land pressure (37 inhab. km⁻²), and the prevailing vegetation is dense evergreen forest on highly desaturated ferrallitic soils (Santoir and Bopda 1995).

50 cocoa agroforests belonging to 35 farmers (i.e. some individual farmers cropped several cocoa agroforests) were randomly selected from lists of farmers belonging to local cocoa growers' organizations.

The cocoa agroforest and farmer distribution was as follows: 19 cocoa agroforests in Bokito, ranging from 452 m² to 23,258 m² (13 farmers), 17 in Zima, ranging from 1,552m² to 26,835 m² (11 farmers) and 14 in Ngomedzap, ranging from 1,860 m² to 22,973 m² (11 farmers).

2.2. Trees inventories

In each cocoa agroforest, the cocoa tree density was measured by counting plants in a randomly located 1,000 m² square. All non-cocoa trees exceeding 1 m in height were inventoried throughout the entire area of each cocoa agroforest. The species identifications were based on vernacular names in the Yambassa language in Bokito, Eton language in Zima and Ewondo language in Ngomedzap. Correspondences with the scientific names were established via the tree identification manuals of Vivien and Faure (1985), Wilks and Issembé (2000) and Eyog Matig et al. (2006). The tree inventories were used to measure the species richness of the cocoa agroforests and to assess their level of agrobiodiversity according to the Shannon index (Krebs 1985). The frequency of each species (F, %) was calculated by the following equation:

$$F_i = \frac{N_i}{N}$$

where N_i is the number of trees of species i in the entire sample, while N is the total number of trees in the sample.

In each cocoa agroforest, the cocoa tree density was measured by counting plants in a randomly located 100 m² square. All non-cocoa trees exceeding 1 m in height were inventoried over all the total area of each cocoa agroforest. The species identifications were based on vernacular names in the Yambassa language in Bokito, Eton language in Zima and Ewondo language in Ngomedzap. Correspondences with the scientific names were established from the tree identification manuals of Vivien and Faure (1985), Wilks and Issembé (2000) and Eyog Matig et al. (2006).

2.3. Farmers' assessment of the use and value of tree species

The main uses of the tree species, including cocoa, were identified through interviews with each of the 35 cocoa agroforest owners/farmers (Bokito: 13; Zima: 11; Ngomedzap: 11).

We then quantified the value farmers attributed to the different inventoried species in their cocoa agroforests according to their uses of these species. Our approach was adapted from the pebble distribution method (PDM; Sheil et al. 2004). This holistic method is a simple diagnostic scoring procedure that clarifies both the understandings and priorities of participants (Lynam et al. 2007).

This exercise was carried out in each cocoa agroforest with the owner and was repeated per cocoa agroforest owned (total: 50 exercises). Each time we presented the cocoa farmer with a cross-classification table in which the rows showed the vernacular name of the cocoa tree and the tree species inventoried in the cocoa agroforest, while the columns indicated potential uses (Table 1). We gave the farmer 100 pebbles to be distributed on the cross-classification table (Photo 1).

The number of pebbles placed in a table cell was 0 if, for the given use, the species had no value for the farmer. Otherwise, this number could range from 1 to 100 according to the value attributed by the farmer to a given species for a given use. We assumed that this number, as a numerical value, could express the value of a species or of a use for the farmer. When the farmer had finished distributing the 100 pebbles on the table, we asked him to explain the final pebble distribution.

We based our analysis of the 50 use value datasets on the following convention: for each expressed use value, the unit corresponding to a number of pebbles out of 100 was expressed as a percentage (V, %).

Table 1 An example of the scoring exercise to estimate the value allocated by a farmer to the different inventoried species in his cocoa agroforest according to the uses. Total A is the overall score for each tree species, for all uses combined, and Total B is the overall score for each use, for all species combined.

Species	Uses							Total A
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	
S1	5	10			3	2		20
S2	10	5						15
S3		30	5				5	40
S4					5	5		10
S5	3		2	5				10
S6								0
S7							5	5
Total B	18	45	7	5	8	7	10	100

Photo 1: Scoring exercise by a cocoa farmer to estimate the value he gives to the different species inventoried in his cocoa agroforest according to their uses (central Cameroon, 2009)



2.4. Statistical analysis

Tree density, species richness, Shannon index, number of uses per species and number of species per use were subjected to an analysis of variance (ANOVA) using a general linear model. The Fisher test was performed to determine significance levels between the three zones. The Newman-Keuls test was used to compare treatment averages when significant differences were noted.

The overall scoring of the tree species (total A, Table 1) enabled us to rank species according to their use value, first globally and then for each study zone. The overall scoring of uses (total B, Table 1) enabled us to rank, for all species combined, the uses on the basis of their value and to draw up a cocoa agroforest use profile, first globally and then for each study zone.

Correlations between the frequency of non-cocoa species and their use value were verified. When variables proved to be significantly correlated at the 5% limit, an analysis of simple regression was carried out (Pearson test).

3. Results

3.1. Inventory et frequency of non-cocoa species

For all 50 cocoa agroforests, 122 non-cocoa tree species were inventoried overall (out of 4,381 trees), including 70 species in Bokito, 64 species in Zima and 84 species in Ngomedzap (Table 2). The five most frequently encountered species were, in descending order: *Dacryodes edulis* (local fruit species), *Persea americana* (exotic fruit species), *Citrus sinensis* (exotic fruit species), *Elaeis guineensis* (local species) and *Mangifera indica* (exotic fruit species). However, this ranking varied between the three study zones—these species were the most frequently encountered in Bokito, whereas in Zima, the most frequent were *P. americana*, *D. edulis*, *M. indica*, *E. guineensis*, *Milicia excelsa* (forest species), and in Ngomedzap the most frequent were *D. edulis*, *P. americana*, *Terminalia superba* (forest species), *Ficus mucoso* (forest species), *Albizia adianthifolia* (forest species).

3.2. Species richness, agrobiodiversity and tree density

The species richness per cocoa agroforest was 23 species on average while the mean Shannon index was 2.42 (Table 3). These two values were significantly higher at Zima and Ngomedzap than at Bokito.

The mean density of cocoa trees was 1,511 plants ha⁻¹ and of non-cocoa trees it was 180 trees ha⁻¹ (Table 3). The cocoa tree density was significantly higher at Zima and Ngomedzap than at Bokito and, conversely, the non-cocoa tree density was significantly higher at Bokito than at Zima and Ngomedzap.

Table 3. Species richness, agrobiodiversity and tree density per cocoa agroforest (\pm SD of the mean)_depending on the study zone (50 cocoa agroforests: Bokito: 19; Zima: 17; Ngomedzap: 14; central Cameroon)

Study zone	Species number	Shannon index	Cocoa tree density ha ⁻¹	Non-cocoa tree density ha ⁻¹
Bokito	15 (\pm 1.54) b	2.01 (\pm 0.09) b	1,217 (\pm 65.49) b	277 (\pm 63.96) a
Zima	24 (\pm 2.06) a	2.57 (\pm 0.07) a	1,604 (\pm 190.19) a	108 (\pm 13.51) b
Ngomedzap	31 (\pm 3.47) a	2.81 (\pm 0.14) a	1,723 (\pm 130.03) a	135 (\pm 29.61) b
Mean	23 (\pm 1.57)	2.42 (\pm 0.76)	1,511 (\pm 78.81)	180 (\pm 27.87)

Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.01$, Newman-Keuls test)

3.3. Tree species uses

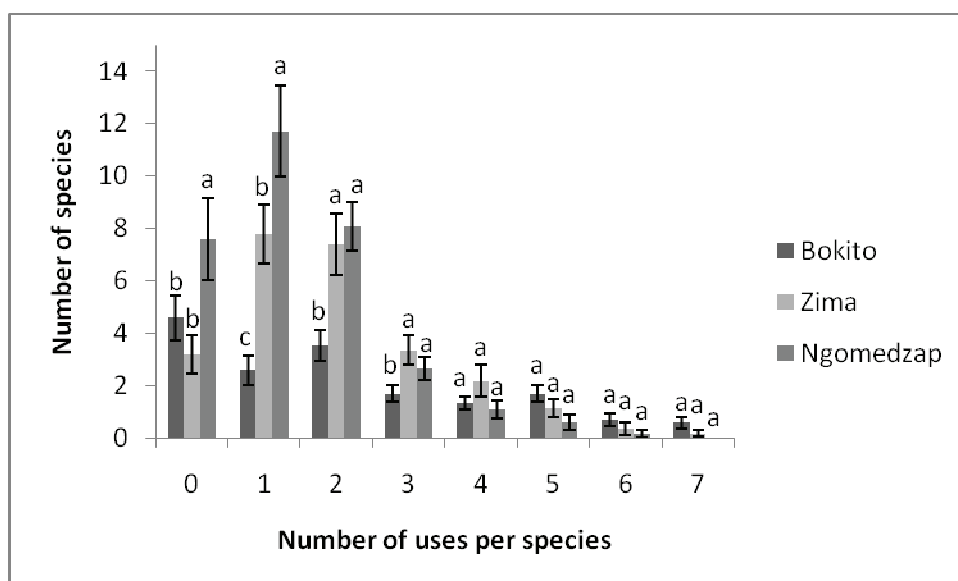
The cocoa farmers defined seven uses of the inventoried species in their cocoa agroforests (Table 4). We lumped these uses into three categories: four production uses, two ecological uses and one social use.

Table 4. Seven uses of cocoa agroforest tree species defined by cocoa farmers (35 cocoa farmers, 50 cocoa agroforests, central Cameroon)

Use category	Use	Code
Production	Non-woody products for on-farm consumption	U1
	Woody and non-woody marketable products	U2
	Woody products for on-farm consumption	U3
	Medicinal products for on-farm consumption	U4
Ecology	Cocoa tree shading	U5
	Soil fertility preservation or enhancement	U6
Social	Non-woody products for social exchange	U7

Table 2 presents a complete inventory of non-cocoa species and their frequency at each site, while also listing the different uses of each species. For all cocoa agroforests, 81% of the species (including cocoa trees) had one to seven uses whereas 19% of the species had no declared use for farmers. The species distribution according to the number of uses varied between study zones (Figure 1). The number of species with no declared use was significantly higher at Ngomedzap than at Zima and Bokito. The number of species with just one use increased significantly from Bokito to Zima and from Zima to Ngomedzap. There were significantly more species with two to three uses at Zima and Bokito than at Ngomedzap. However, no significant difference was noted between study zones for species with four or more uses.

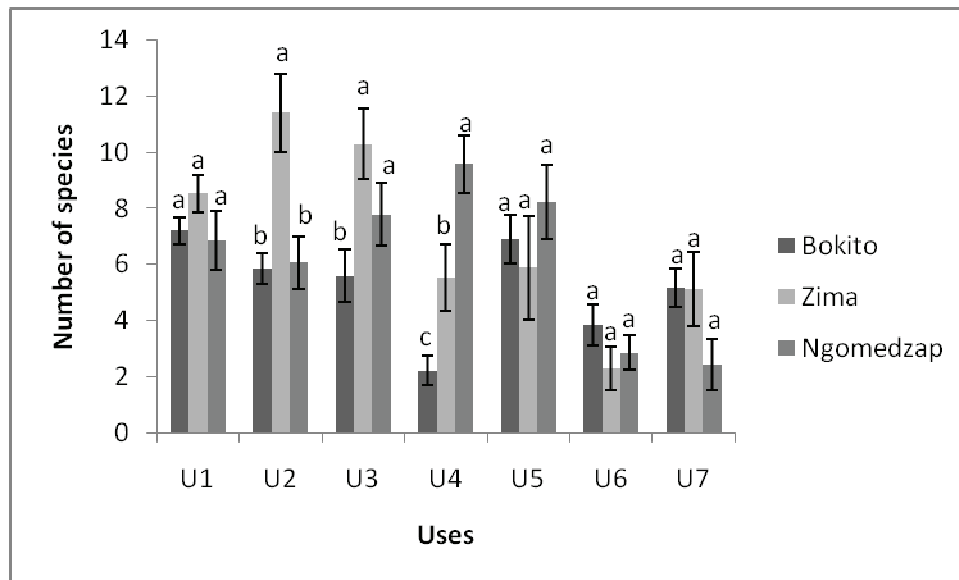
Figure 1. Application of the pebble distribution method (50 datasets): distribution of tree species (including cocoa trees) according to the number of uses defined by farmers in the three study zones (123 species; 50 cocoa agroforests: 19 in Bokito; 17 in Zima; 14 in Ngomedzap; central Cameroon)



For all 50 cocoa agroforests, the species were distributed in descending order according to the type of use, as follows: 19.6% of the tree species were exploited for non-woody products for on-farm consumption (U1), 18.8 % for woody and non-woody marketable products (U2), 17.6% for woody products for on-farm consumption (U3), 15.9% for cocoa tree shading (U5), 11.6% for medicinal products for on-farm consumption (U4), 9.6% for non-woody products for social exchange (U7), and 6.6% for soil fertility preservation and enhancement (U6).

This species distribution according to use varied between study zones (Figure 2). The number of species varied significantly between zones for U2 (marketable products), U3 (woody products for on-farm consumption), U4 (medicinal products for on-farm consumption): for U2, the number of species was significantly higher at Zima than at Bokito and Ngomedzap; for U3, the number was significantly higher at Zima and Ngomedzap than at Bokito; and for U4, it increased significantly from Bokito to Zima and from Zima to Ngomedzap. However, no significant difference was noted between study zones in terms of the number of species providing non-woody products for on-farm consumption (U1), cocoa tree shading (U5), soil fertility preservation or enhancement (U6) or for social exchange (U7).

Figure 2. Application of the pebble distribution method (50 datasets): number of tree species (including cocoa trees) for each of the seven uses defined by farmers. U1: non-woody products for on-farm consumption; U2: woody and non-woody marketable products; U3: woody products for on-farm consumption; U4: medicinal products for on-farm consumption; U5: cocoa tree shading; U6: soil fertility preservation or enhancement; U7: non-woody products for social exchange (123 species, 50 cocoa agroforests, central Cameroon)



3.4. Tree species ranking according to their use value

We ranked species by their overall scores, for all uses combined (Total A, Table 1). Irrespective of the study zone and cocoa farmer, the highest use value was attributed to *Theobroma cacao*, with a mean score of 23.6%, thus confirming the pivotal role of cocoa trees in the system (Table 5). The use value of *Theobroma cacao* was significantly higher at Bokito (34.7 %) than at Zima (14.2%) and Ngomedzap (19.6%). The highest use value given to *Theobroma cacao* concerned marketable cocoa production. However, at Bokito and Zima, farmers also attributed a use value to this species for all other uses, whereas farmers at Ngomedzap attributed a use value for three other uses.

The use values of non-cocoa species overall and in each study zone are given in Table 2. For all 50 cocoa agroforests, after cocoa trees, and in descending order, the 10 non-cocoa species that had the highest use values were as follows: *Dacryodes edulis*, *Persea americana*, *Elaeis guineensis*, *Citrus sinensis*, *Mangifera indica*, *Milicia excelsa*, *Cola nitida*, *Citrus* sp., *Ricinodendron heudelotii* and *Terminalia superba*. However, the 10 non-cocoa species ranked highest by farmers varied between study zones. *Dacryodes edulis*, *Persea americana*, *Elaeis guineensis* and *Mangifera indica* obtained the highest rankings in all zones, but the number of forest species ranked in this top-10 increased over a north–south gradient in the region, ranging from three species at Bokito to four at Zima and six at Ngomedzap.

The use value of species also varied according to their uses. Of the five species ranked highest by farmers for each use and in each study zone (Table 6), cocoa trees ranked highest for use U2 (marketable products) in the three zones. Its use value was also highest at Bokito for uses U3 and U4 (woody products and medicinal products). Moreover, it was part of this top-five at Bokito for U6 (soil fertility preservation or enhancement) and Zima for U7 (social exchange).

Table 5. The use value (V, %) attributed to cocoa trees by farmers, throughout the study zone, according to use, and the overall score for all uses combined per zone (total A) (results of the pebble distribution method, 50 datasets). U1: non-woody products for on-farm consumption; U2: woody and non-woody marketable products; U3: woody products for on-farm consumption; U4: medicinal products for on-farm consumption; U5: cocoa tree shading; U6: soil fertility preservation or enhancement; U7: non-woody products for social exchange.

Study zone	Use value of <i>Theobroma cacao</i> (V, %)							Total A
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	
Bokito	3.5 (±1.38) a	71.7 (±5.21) a	14.5 (±3.81) a	17.7 (±3.21) a	7.1 (±2.81) a	13.4 (±7.65) a	5.8 (±2.05) a	34.7 (±4.21) a
Zima	3.8 (±1.25) a	36.1 (±4.38) b	1.8 (±1.01) b	2.9 (±1.26) b	3.1 (±1.85) b	1.9 (±0.73) a	5.4 (±0.73) a	14.2 (±6.36) b
Ngomedzap	-	54.9 (±7.45) a	1.2 (±0.89) b	0.6 (±3.27) b	-	5.4 (±7.17) a	-	19.6 (±5.49) b
Mean	2.8	56.7	5	6.3	3.6	8.8	0.5	23.6

Values within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.01$, Newman-Keuls test)

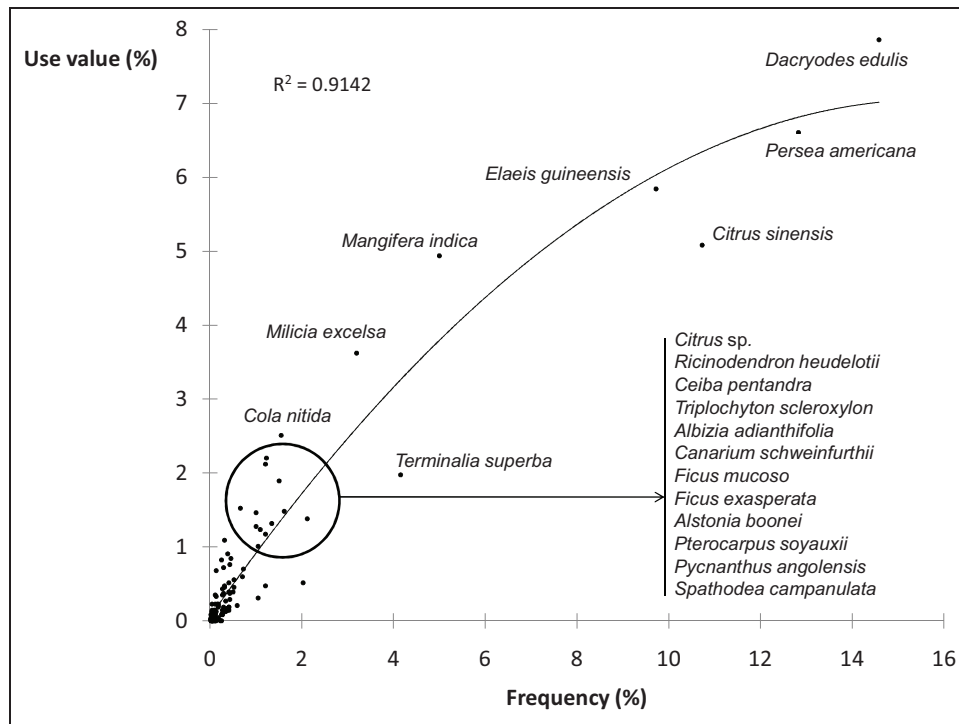
In the top-five species ranking per use shown in Table 6, 12 species accounted for the seven uses in the forest-savanna transition zone at Bokito, as compared to 19 species at Zima and 21 at Ngomedzap. Of the 12 highest ranked species at Bokito, there were seven fruit species and five forest species, whereas in the Zima and Ngomedzap forest zones, 13 and 16 species, respectively, were amongst these top ranked species.

The use value of non-cocoa species was significantly and positively correlated with their frequency ($R^2 = 0.914$; $P < 0.001$) (Figure 3). This correlation was also significant for each study zone: Bokito $R^2 = 0.368$; $P < 0.001$; Zima $R^2 = 0.682$; $P < 0.001$; and Ngomedzap $R^2 = 0.584$; $P < 0.001$. Of the 122 non-cocoa species inventoried in the cocoa agroforests, Figure 3 highlights 20 species that were most frequently encountered while also having the highest use value for farmers. There were 13 forest species amongst these 20 species.

Table 6. Use value (V, %) of the five species ranked highest by farmers per use and per study zone. Uses: U1: non-woody products for on-farm consumption; U2: woody and non-woody marketable products; U3: woody products for on-farm consumption; U4: medicinal products for on-farm consumption; U5: cocoa tree shading; U6: soil fertility preservation or enhancement; U7: non-woody products for social exchange (50 datasets obtained via the pebble distribution method; 50 cocoa agroforests for 35 farmers surveyed; central Cameroon).

Use	Bokito		Zima		Ngomedzap	
	Species	V (%)	Species	V (%)	Species	V (%)
Production uses						
U1	<i>Citrus sinensis</i>	16.6	<i>Dacryodes edulis</i>	14.1	<i>Dacryodes edulis</i>	17.7
	<i>Dacryodes edulis</i>	15.1	<i>Citrus sp.</i>	13.1	<i>Persea americana</i>	15.1
	<i>Persea americana</i>	14.8	<i>Persea americana</i>	12.3	<i>Mangifera indica</i>	11.7
	<i>Elaeis guineensis</i>	14.3	<i>Citrus sinensis</i>	11.3	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	10.4
	<i>Mangifera indica</i>	7.0	<i>Elaeis guineensis</i>	11.1	<i>Elaeis guineensis</i>	9.5
U2	<i>Theobroma cacao</i>	71.7	<i>Theobroma cacao</i>	36.1	<i>Theobroma cacao</i>	54.9
	<i>Dacryodes edulis</i>	6.7	<i>Dacryodes edulis</i>	6.9	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	7.4
	<i>Elaeis guineensis</i>	4.1	<i>Citrus sp.</i>	6.1	<i>Dacryodes edulis</i>	5.2
	<i>Persea americana</i>	3.4	<i>Persea americana</i>	6.1	<i>Mangifera indica</i>	5
	<i>Citrus sinensis</i>	3.4	<i>Elaeis guineensis</i>	4.1	<i>Milicia excelsa</i>	4.6
U3	<i>Theobroma cacao</i>	14.5	<i>Milicia excelsa</i>	14.2	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	10.4
	<i>Milicia excelsa</i>	12.0	<i>Tieghemella africana</i>	6.3	<i>Milicia excelsa</i>	8.1
	<i>Persea americana</i>	11.4	<i>Mansonia altissima</i>	5.6	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	8.1
	<i>Dacryodes edulis</i>	8.2	<i>Ficus exasperata</i>	5.2	<i>Lovoa trichilioides</i>	6.4
	<i>Triplochyton scleroxylon</i>	5.7	<i>Antiaris africana</i>	4.1	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	5.2
U4	<i>Theobroma cacao</i>	17.7	<i>Alstonia boonei</i>	9.6	<i>Morinda lucida</i>	9.7
	<i>Cola nitida</i>	15.7	<i>Persea americana</i>	7.4	<i>Persea americana</i>	7.1
	<i>Persea americana</i>	13.7	<i>Mangifera indica</i>	7.4	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	6.6
	<i>Mangifera indica</i>	11.7	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	6.6	<i>Pycnanthus angolensis</i>	6.2
	<i>Rauvolfia vomitoria</i>	7.8	<i>Rauvolfia vomitoria</i>	6.6	<i>Alstonia boonei</i>	6.2
Ecological uses						
U5	<i>Ceiba pentandra</i>	12.2	<i>Terminalia superba</i>	10.1	<i>Terminalia superba</i>	11.1
	<i>Persea americana</i>	9.4	<i>Milicia excelsa</i>	7.1	<i>Ficus exasperata</i>	7.4
	<i>Elaeis guineensis</i>	8.9	<i>Spathodea campanulata</i>	7.1	<i>Pycnanthus angolensis</i>	6.4
	<i>Albizia adianthifolia</i>	8.9	<i>Citrus sp.</i>	4.7	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	5.8
	<i>Dacryodes edulis</i>	7.1	<i>Alstonia boonei</i>	4.7	<i>Ficus mucoso</i>	5.8
U6	<i>Ceiba pentandra</i>	19.3	<i>Ficus mucoso</i>	26.9	<i>Ficus mucoso</i>	21.8
	<i>Albizia adianthifolia</i>	15.1	<i>Erythrococca sp.</i>	11.5	<i>Ceiba pentandra</i>	12.7
	<i>Theobroma cacao</i>	13.4	<i>Ceiba pentandra</i>	11.4	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	9.1
	<i>Dacryodes edulis</i>	7.5	<i>Dacryodes edulis</i>	7.7	<i>Pycnanthus angolensis</i>	7.3
	<i>Milicia excelsa</i>	7.4	<i>Milicia excelsa</i>	7.6	<i>Alstonia boonei</i>	7.2
Social uses						
U7	<i>Citrus sinensis</i>	16.8	<i>Citrus sinensis</i>	12.9	<i>Elaeis guineensis</i>	15.5
	<i>Elaeis guineensis</i>	15.5	<i>Elaeis guineensis</i>	11.8	<i>Cola acuminata</i>	13.3
	<i>Dacryodes edulis</i>	14.9	<i>Dacryodes edulis</i>	8.6	<i>Dacryodes edulis</i>	11.1
	<i>Cola nitida</i>	14.2	<i>Persea americana</i>	6.4	<i>Persea americana</i>	8.9
	<i>Mangifera indica</i>	9.1	<i>Theobroma cacao</i>	5.4	<i>Dacryodes macrophylla</i>	8.9

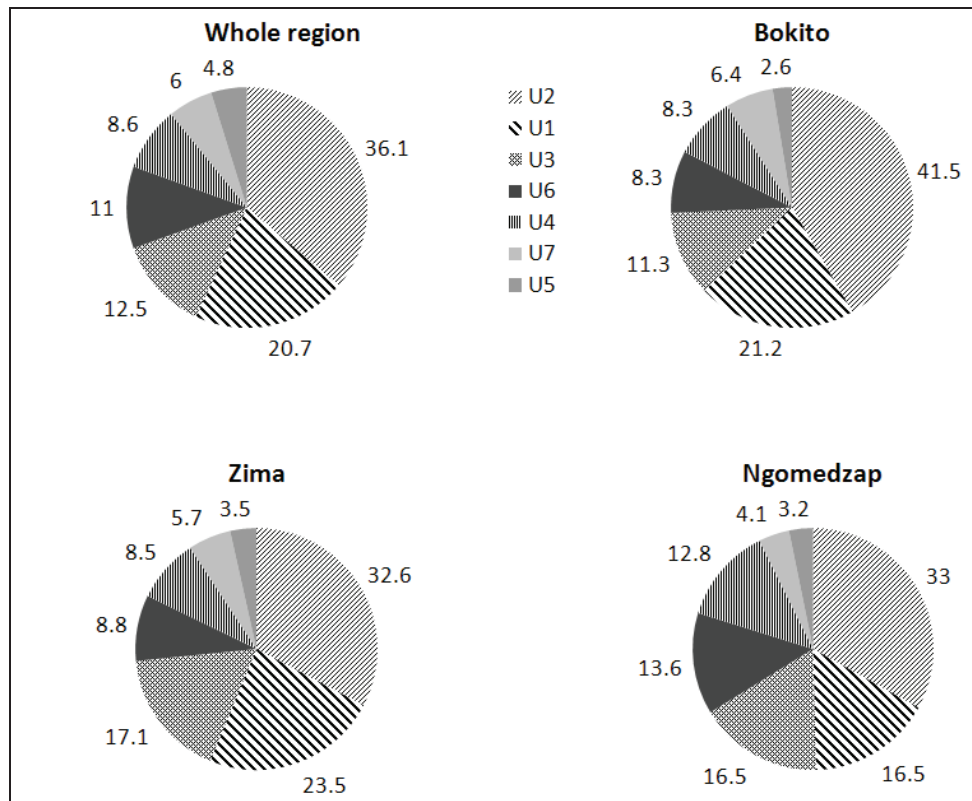
Figure 3. Positive correlation between the frequency of non-cocoa species (%) and their use value (%), for all uses combined (50 datasets obtained via the pebble distribution method: 50 cocoa agroforests for 35 farmers surveyed; central Cameroon).



3.5. Cocoa agroforests use profile by tree species uses ranking

For all combined species, we ranked uses according to the total of the use values (Total B, Table 1) attributed by cocoa farmers. For all 50 cocoa agroforests (Figure 4a), the two main species uses were the provision of woody and non-woody marketable products (U2) and non-woody products for on-farm consumption (U1). Together, these two uses accounted for 56.8% of the total use values, whereas the other uses represented 43.2% overall. These were, in descending order, providing woody products for on-farm consumption (U3), soil fertility preservation or enhancement (U6), medicinal products (U4), non-woody products for social exchange (U7) and cocoa tree shading (U5). This use ranking was identical for all three study zones (Figure 4, b to d). However, the combined value for uses U2 and U1 declined from the Bokito forest-savanna transition zone to the Zima and Ngomdezap forest zones, whereas the values of the other uses (U3, U6, U4, U7 and U5) increased from 37.3% at Bokito to 43.9% at Zima and 50.5% at Ngomdezap.

Fig. 4. Use values (%) attributed to species in cocoa agroforests. Uses: U1: non-woody products for on-farm consumption; U2: woody and non-woody marketable products; U3: woody products for on-farm consumption; U4: medicinal products for on-farm consumption; U5: cocoa tree shading; U6: soil fertility preservation or enhancement; U7: non-woody products for social exchange (50 datasets obtained via the pebble distribution method: 50 cocoa agroforests for 35 farmers surveyed; central Cameroun).



4. Discussion

4.1. A high agrobiodiversity level

We inventoried 23 tree species per cocoa agroforest on average. This high number is in line with the average of 21 species reported by Sonwa et al. (2007) in a humid forest zone of southern Cameroon. The most common species in our study were also similar to those inventoried by these authors. The high Shannon indices we obtained (mean: 2.42) were similar to those obtained by Jagoret et al. (2011), but they were lower than those of Sonwa et al. (2007) with an average of 3.7, and of Zapfack et al. (2002) with an average of 4.39 in the forest zone of Cameroon. These Shannon index differences could be explained by the fact that these authors did not conduct inventories in the Bokito forest–savanna transition zone where the cocoa agroforest agrobiodiversity level was found to be lower than in cocoa agroforests located in forest zones.

4.2. Cocoa tree status in agroforestry systems

Cocoa trees were found to be the main constituent, density-wise, in cocoa agroforests in central Cameroon. Farmers ranked cocoa as the highest species in terms of use value. These two findings were in agreement with previous studies describing the high contribution of cocoa to the household income in Cameroon (Leplaideur 1985; Jagoret et al. 2011).

In 2009, at the time of this study, the purchase price for marketable cocoa from growers was around FCFA700 kg⁻¹ (n.b. FCFA656 = €1), whereas it sharply increased in 2011 to FCFA1,500 kg⁻¹. It would be interesting to assess the impact of variations in this price on the use value that farmers attribute to cocoa trees relative to other species. The use value of *Theobroma cacao* could increase with the cocoa purchase price, to the detriment of the value attributed to non-cocoa species, whereas the reverse trend would apply when cocoa prices drop. Moreover, this impact could differ between zones since the cocoa tree U2 (marketable product) use value was dependent on the other marketable products. How would Bokito farmers react since they gave cocoa trees the highest value for use U2 (71.7%)? These farmers from the forest-savanna transition zone also implemented the most intensive cropping practices and their marketable cocoa yields were significantly higher than those in the Zima and Ngomedzap forest zones (Jagoret et al. 2011).

4.3. Species uses and number of species per use: differences between zones

At Zima, where there was a high human population, the number of species without any use was significantly lower than in the three study zones, whereas the number of species providing marketable woody or non-woody products was significantly higher. These findings suggest that under high land pressure farmers try to profit maximally from species associated with cocoa trees. Our results are in line with those obtained by Degrande et al. (2006), who showed that market access and land pressure are the main factors influencing the introduction of fruit species in cocoa agroforests. Our results also confirmed those of Sonwa et al. (2007), who showed that market access and land pressure also affect the tree composition and biodiversity of cocoa agroforests.

Moreover, differences in natural environment impact farmers' use of species. At Bokito, a forest-savanna transition zone where fewer forest species were inventoried, there were many uses of fruit tree species, i.e. much more than just providing fruit for on-farm consumption or to be marketed. For instance, *Dacryodes edulis* was used for cocoa tree shading and soil fertility preservation, *Persea americana* and *Theobroma cacao* were used for fuelwood and medicinal purposes. Conversely, in Zima and Ngomedzap forest zones, fruit trees mainly provided products for on-farm consumption and for social exchange, while forest species had other uses: fuelwood, timber, medicinal products, cocoa tree shading and soil fertility preservation or enhancement.

Cocoa trees were used in all three zones to provide traditional medicines, (use U4), i.e. mainly as a local antiseptic (young leaves used to disinfect minor wounds). *Theobroma cacao* had a high medicinal use value at Bokito, but this value was low in forest zones (Zima and Ngomedzap).

Indeed, the number of forest species with a medicinal use was significantly higher in forest zones than at Bokito, which is located in a forest–savanna transition region where the number of available forest species is substantially lower. Zapfack et al. (2002) had already reported a medicinal use of cocoa trees in forest zones of central Cameroon, but they did not specify the extent of this use.

Of the five species ranked highest by farmers for soil fertility preservation or enhancement (U6, Table 4), we found that *Ceiba pentandra* and *Milicia excelsa* at Bokito, as well as *Ficus mucoso*, *Ceiba pentandra* and *Entandrophragma cylindrica* at Ngomedzap, were also listed in the classification of Bidzanga et al. (2009) on the basis of a study carried out in the same zones. These authors asked 20 cocoa farmers to empirically rank 10 ‘fertility-enhancing’ species inventoried in their cocoa agroforests, and they discovered that the farmers’ ranking was similar to their ranking of the same species according to the rate of mycorrhizal colonization of their roots.

4.4. Cocoa agroforests—what is the ideal use profile ?

In cocoa agroforests, besides cocoa trees, the main non-cocoa trees were identified on the basis of the documented relationship between the species frequency and their use value (Figure 3). We noted that these were local fruit tree species such as *Dacryodes edulis* and *Elaeis guineensis*, or exotic fruit species such as *Persea americana* and *Citrus sinensis* for fruit production for on-farm consumption and marketing. However, we also noted that, amongst the baseline species of cocoa agroforests, there were several forest species, such as *Milicia excelsa*, *Terminalia superba*, *Ceiba pentandra* and *Ficus mucoso*, which had uses that differed from conventional fruit tree uses, i.e. providing timber, enhanced soil fertility and cocoa tree shading. The introduction of species with a high economic potential is the main way, according to previous reports, to improve cocoa agroforests (Ayuk et al. 1999a; Ayuk et al. 1999b; Ruiz Pérez et al. 1999; Leakey and Tchoundjeu 2001; Schreckenberget al. 2006). However, our results revealed that farmers’ expectations went beyond the provision of products for on-farm consumption and marketing, and thus other uses of cocoa agroforests should also be considered. This was confirmed by the cocoa agroforest use profile (Figure 4), where uses other than the provision of products for on-farm consumption and marketing represented 37.3% and 50.5% of the total use values, depending on the study zone.

4.5. Adaptation of the Pebble Distribution Method —a relevant participatory method for the assessment of complex agroforestry Systems

Sheil et al. (2004) designed the pebble distribution method to determine the value given by some Indonesian village communities to their environment and natural resources. By adapting this participatory method, we achieved a global quantitative assessment of cocoa agroforests. In this quantitative assessment, farmers attributed a use value to species present in their cocoa agroforests on the basis of their uses of the agroforest resources. This method had two main advantages. First, it enabled us to overcome many methodological problems in the assessment of these species, whose uses, the type of products harvested or services provided and growth cycles may differ markedly (Nair 1993; Huxley 1999).

Finally, we overcame the problem of a common unit to assess species that in many cases have several uses, some of which (especially ecological uses) are hard to quantify (Huxley 1999).

This quantitative assessment of the use value could be readily implemented and it was easy for farmers to understand, even some illiterate farmers—the column and row headings of the table (Table 1) can also have icons or photos rather than species names and uses. Similar to the *Bao* board game based method (Franzel et al. 1995; Franzel 2001), our adaptation of the pebble distribution method makes it possible to combine a participatory assessment, in which farmers are involved and account for their choices, with the collection of quantitative data represented by use value scores suitable for statistical analysis.

The third advantage of this method was that readily measurable observed variables, such as the species frequency, could be correlated with the use value variable, with the aim of identifying species which, besides cocoa trees, were baseline constituents of the studied agroforestry systems (Figure 3).

Finally, the ranking of species—weighted by their uses—by farmers gave us access to a higher information level than possible with methods generally implemented to gain insight into traditional ecological know-how, e.g. interviews, questionnaires and analytical workshops (Martin et al. 2010). As a holistic method that assesses the use value of each species relative to the others present, the quantitative assessment of the species use value accounts for all species of agroforestry systems and all of their uses.

In conclusion, our results showed that the majority of species present in cocoa agroforests of central Cameroon had a specific value for farmers. Most species had one or several uses that fulfilled the vital needs of farm households. The multifunctionality of cocoa agroforests, on plot and species scales, should be correlated with the high level of agrobiodiversity of these complex systems. This multifunctionality corresponds to a complexity that is established by the farmers at three levels, i.e. the plot structure, exploited uses, and management of the different tree stands. This intentional complexity should be taken into account in future plans to improve cocoa agroforests so as to be able to more effectively address farmers' expectations, and thus ensure more successful adoption of technical innovations proposed by scientists.

Acknowledgements

This study was carried out in partnership with the *Institut de recherche agricole pour le développement* (IRAD, Cameroon) and the *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement* (CIRAD, France) within the framework of the Research Platform in Partnership (PCP) *Grand-Sud Cameroun*. It was undertaken as part of the project entitled *Projet de renforcement des partenariats dans la recherche agronomique au Cameroun* funded by the French Ministry of Foreign and European Affairs. The authors would like to thank Cécile Fovet-Rabot and Didier Snoeck (CIRAD) for their critical proofreading.

References

- Asare A, Tetteh DA (2010) The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry Systems* 79: 355-368
- Ayuk ET, Duguma B, Franzel S, Kengue J, Mollet M, Tiki Manga T, Zenkeng P (1999a) Uses, management and economic potential of *Dacryodes edulis* (Burseraceae) in the humid lowlands of Cameroon. *Econ Bot* 53:292–301
- Ayuk ET, Duguma B, Franzel S, Kengue J, Mollet M, Tiki Manga T, Zenkeng P (1999b) Uses, management and economic potential of *Garcinia kola* and *Ricinodendron heudelotti* in the humid lowlands of Cameroon. *J Trop Forest Sci* 11:746–761
- Bidzanga N, Fotsing B, Agoume V, Birang AM, Onguene AN, Zapfack L (2009) Mycotrophie et connaissances paysannes des essences fertilitaires dans les agroforêts à base de cacaoyers du Sud Cameroun. *Cameroon Journal of Experimental Biology* 5: 79–86.
- Bisseleua DHB, Missoup AD, Vidal S (2009) Biodiversity conservation, ecosystem functioning, and economic incentives under cocoa agroforestry intensification. *Conserva Biology* 23:1176–1184
- Carrière SM (2002) Orphan trees of the forest : why do Ntumu farmers of Southern Cameroon protect trees in their swidden fields ? *J Ethnobiol* 22:133–162
- Degrande A, Schreckenber K, Mboosso C, Anegbeh P, Okafor V, Kanmegne J (2006) Farmers' fruit tree-growing strategies in the humid forest zone of Cameroon and Nigeria, *Agrofor Systems* 67:159–175
- Dixon J, Gulliver A, Gibbon D (2001) *Farming Systems and Poverty. Improving farmers livelihoods in a changing world.* Fao, Rome
- Duguma B, Gockowski J, Bakala J (2001) Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agrof Systems* 51:177-188
- Eyog Matig O, Ndoeye O, Kengue J, Awano A (2006) Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun, IPGRI/SAFORGEN/IRAD/CIFOR, Cotonou
- Franzel S, Hitimana L, Akyeampong E (1995) Farmer participation in on-station tree species selection for agroforestry: a case study from Burundi. *Expl Agric* 31: 27-38
- Franzel S (2001) Use of an indigenous board game, “Bao”, for assessing farmers’ preferences among alternative agricultural technologies. In: Peters GH, Pingali P (Eds) *Tomorrow’s agriculture: incentives, institutions, infrastructure and innovations.* Oxford, Ashgate pp. 416-424

- Franzen M, Borgerhoff Mulder M (2007) Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide. *Biodivers Conserv* 16:3835-3849
- Garrity DP (2004) Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agrofor Systems* 61:5-17
- Gockowski J, Dury S (1999) The economics of cocoa-fruit agroforests in southern Cameroon. In: Jimenez F, Beer J (Eds) *Multi-strata Agroforestry Systems with Perennial Crops*. CATIE Turrialba, pp. 239-241
- Griffon M (1999) Développement durable et agriculture : la révolution doublement verte. *Cahiers Agricultures* 8: 259-267
- Hartemink AE (2005) Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Adv Agron* 86:227-253
- Huxley PA (1999) *Tropical Agroforestry*. Blackwell Science, London
- Jagoret P, Michel-Dounias I., Malézieux E (2011). Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon. *Agrofor Systems* 81: 267-278
- Juhrbandt J, Duwe T, Barkmann J, Gerold G, Marggraf R (2010) Structure and management of cocoa agroforestry systems in Central Sulawesi across an intensification gradient. *In* : Tropical rainforests and agroforests under global change. Ecological and socio-economic valuations. Tschardt T., Leuschner C., Veldkamp E., Faust H., Guhardja E., Bidin A. (eds). Springer, Heidelberg pp. 115-140.
- Kotto-Same J, Woomer PL, Moukam A, Zapfack L (1997) Carbon dynamics in slash and burn agriculture and land use alternative in the humid forest zone in Cameroon. *Agric Ecosyst Environ* 65:245-256
- Krebs CJ (1985) Species diversity. In: Krebs CJ (Ed.), *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Harper and Row, New York, pp. 507–534
- Laird SA, Awung GL, Lysinge RJ (2007) Cocoa farms in the Mount Cameroon region: biological and cultural diversity in local livelihoods. *Biodivers Conserv* 16: 2401–2427
- Leakey RRB (1998) Agroforestry in the humid lowlands of West Africa: some reflections on future directions for research. *Agrofor Systems* 40: 253-262
- Leakey RRB, Tchoundjeu Z (2001) Diversification of tree crops: domestication of companion crops for poverty reduction and environmental services. *Exp Agric* 37:279-296
- Leplaideur A (1985) *Les systèmes agricoles en zone forestière : les paysans du Centre et du Sud Cameroun*. Cirad-Irat, Paris

- Lynam T, de Jong W, Sheil D, Kusumanto T, Evans K (2007) A review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management. *Ecology and Society* 12:5
<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art5/>
- Martin JF, Roy ED, Diemont SAW, Ferguson BG (2010) Traditionnal Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering. *Ecological Engineering* 36: 839-849
- Mollet M, Tiki-Manga T, Kengue J, Tchoundjeu Z (1995) The “top 10” species in Cameroon. A survey of farmers’ views on trees. *Agroforestry Today* 6:14-16
- Nair PKR (1993) An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Oke DO, Odebiyi KA (2007) Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122: 305-311
- Osei-Bonsu K, Opoku-Ameyaw K, Amoah FM, Oppong FK (2002) Cacao-coconut intercropping in Ghana: agronomic and economic perspectives. *Agrof Systems* 55:1-8
- Pollini J (2009) Agroforestry and the search for alternatives to slash-and-burn cultivation: from technological optimism to a political economy of deforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133:48-60
- Ruf F, Schroth G (2004) Chocolate Forests and Monocultures: A Historical Review of Cocoa Growing and Its Conflicting Role in Tropical Deforestation and Forest Conservation. In: Schroth G, Da Fonseca GAB, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos HL and Izac AMN (Eds) *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*, Island Press, Washington DC, pp 107-133
- Ruiz Pérez M, Ndoye O, Eyebe A (1999) Marketing of non-wood forest products in the humid forest zone of Cameroon. *Unasylva* 198: 12-19
- Salgado-Mora MG, Ibarra-Núñez G, Macías-Sámano JE, López-Báez O (2007) Diversidad arbórea en cacaotales des Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32: 763-768
- Santoir C, Bopda A (1995) Atlas régional Sud-Cameroun. Orstom, Paris
- Schreckenberg K, Degrande A, Mbosso C, Boli Baboule Z, Boyd C, Enyong L, Kanmegne J, Ngong C (2002) The social and economic importance of *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam in southern Cameroon. *Forest Trees Livelihoods* 12:15-40
- Schreckenberg K, Awono A, Degrande A, Mbosso C, Ndoye O, Tchoundjeu Z (2006) Domesticating indigenous fruit trees to reduce poverty. *Forest Trees Livelihoods* 16:35-51

- Sheil D, Puri RK, Basuki I, Van Heist M, Wan M, Liswanti N, Rukmiyati, Sardjono MA, Samsoedin I, Sidiyasa K, Chrisandini, Permana E, Angi EM, Gatzweiler F, Johnson B, Wijaya A (2004) A la découverte de la biodiversité, de l'environnement et des perspectives des populations locales dans les paysages forestiers. Méthodes pour une étude pluridisciplinaire du paysage. Cifor, Jakarta
- Sonwa DJ, Weise SF, Janssens MJJ (2002) Etude de cas d'aménagement forestier exemplaire en Afrique centrale : les systèmes agroforestiers cacaoyers du Cameroun. Fao, Rome
- Sonwa DJ, Nkongmeneck AB, Weise SF, Tchatat M, Adesina AA., Janssens MJ (2007). Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. Biodiversity and Conservation 16:2385-2400
- Tilman D, Cassman K, Matson P, Naylor R, Polasky S (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418: 671-677
- The World Bank (2007) World development report 2008. Agriculture for Development. The World Bank, Washington, DC
- Vandermeer J (1989) The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, Cambridge
- Vivien J, Faure JJ (1985) Arbres des forêts denses d'Afrique centrale. Espèces du Cameroun, Agence de coopération culturelle et technique, Paris
- Wilks C, Issembé Y (2000) Guide pratique d'identification. Les arbres de la Guinée équatoriale. Région continentale. Projet Curaf, Malabo
- Zapfack L, Engwald S, Sonke B, Achoundong G, Birang AM (2002) The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. Biodiv Conserv 2:2047-2061
- Zuidema PA, Leffelaar PA, Gerritsma W, Mommer L, Anten NPR (2005) A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. Agricultural Systems 84:195-225

Table 2. Frequency (F, %) of non-cocoa species noted in the tree inventories of 50 cocoa agroforests, their use value (V, %) and uses as determined by the pebble distribution method (50 datasets). Uses: U1: Non-woody products for on-farm consumption; U2: Woody and non-woody marketable products; U3: Woody products for on-farm consumption; U4: Medicinal products for on-farm consumption; U5: Cocoa tree shading; U6: Soil fertility preservation or enhancement; U7: Non-woody products for social exchange (central Cameroon).

Tree species	Study site			Use																
	Bokito			Zima			Ngomedzap			Whole area			Production			Ecology			Social	
	F (%)	V (%)	F (%)	F (%)	V (%)	V (%)	F (%)	F (%)	V (%)	F (%)	V (%)	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7		
<i>Afzelia pachyloba</i> Harms.	0.3	0.4	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1		X	X						
<i>Albizia adianthifolia</i> (Schumach.) W. Wight	1.1	2.6	0.6	0.2	3.3	1.5	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	X	X	X	X	X	X			
<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth.	-	-	0.2	-	-	-	0.1	-	0.1	-	-									
<i>Albizia glaberrima</i> (Schum. & Thonn.) Benth.	-	-	-	-	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			X						
<i>Alchornea cordifolia</i> (Schumach. & Thonn.)	0.1	-	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-									
<i>Alstonia boonei</i> De Wild.	-	-	1.2	2.1	1.9	2	1	1.3	1	1.3	1.3	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Anthoecista schweinfurthii</i> Gilg	-	-	0.1	0.4	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	X	X	X	X	X	X			
<i>Anthoecista vogelii</i> Planch.	0.1	-	0.8	0.4	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Antiaris africana</i> Engl.	-	-	0.4	1	-	-	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Antrocaryon klaineanum</i> Pierre	-	-	-	-	0.9	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	X			X	X				
<i>Artocarpus altilis</i> J.R. Forst. & G. Forst.	0.1	0.3	-	-	0.1	-	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	X		X	X	X	X	X		
<i>Berlinia confusa</i> Hoyle	-	-	-	-	0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1			X		X				
<i>Bombax buonopozense</i> P. Beauv.	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	-	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Bosqueia angolensis</i> Ficalho	-	-	0.3	-	-	-	0.1	-	0.1	-	-									
<i>Bridelia micrantha</i> (Hochst.) Baill.	1.3	0.2	-	-	0.5	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	X		X	X					
<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl.	0.9	1.6	0.8	1.6	1.4	1.2	1	1.5	1	1.5	1.5	X	X	X	X	X				
<i>Carapa procera</i> DC.	0.5	-	-	-	0.1	-	0.2	-	0.2	-	-									
<i>Carpolobia alba</i> G. Don	0.1	-	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	-									
<i>Ceiba pentandra</i> (L.)	3	3.2	0.9	1	0.6	1.1	1.5	1.9	1.5	1.9	1.9	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Citrus articulata</i> (Spreng.) Swingle & Keller.	0.2	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-	-									
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	27.3	7.4	3.9	5.2	0.5	1.7	10.7	5.1	10.7	5.1	10.7	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Citrus</i> sp.	0.1	0.4	3.5	6.2	-	-	1.2	2.2	1.2	2.2	2.2	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Cleistanthus patens</i> (Benth.) Engl. & Diels	0.1	-	-	-	0.4	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1						X			
<i>Coelocaryon preussii</i> Warb.	0.1	0.2	-	-	-	-	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1			X						
<i>Cola acuminata</i> (P. Beauv.) Schott & Endl.	0.2	-	0.1	0.1	0.6	1.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Cola ballayi</i> Cornu ex Hack.	0.5	0.1	-	-	-	-	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			X						

<i>Cola ficifolia</i> Mast.	0.3	-	0.5	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	X	X	X	X
<i>Cola lateritia</i> K. Schum.	0.8	0.7	-	-	0.7	0.4	0.5	0.4	X	X	X	X
<i>Cola lepidota</i> K. Schum.	-	-	-	-	0.1	0.1	<0.1	<0.1	X			
<i>Cola nitida</i> (Vent.) Schott & Endl.	2.9	4.8	1.7	2	-	-	1.6	2.5	X	X	X	X
<i>Cordia aurantiaca</i> Baker	0.1	0.3	-	-	-	-	<0.1	0.1	X			X
<i>Cordia platyhyrsa</i> Baker	0.2	0.2	-	-	1.2	0.7	0.4	0.3	X	X	X	X
<i>Coula edulis</i> Baill.	-	-	-	-	0.9	1.2	0.3	0.3	X	X	X	X
<i>Cylindrodiscus gabunensis</i> Harms	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	<0.1	0.1	X	X	X	
<i>Dacryodes edulis</i> (G. Don) H. J. Lam	12.1	9.2	14.2	7.4	17.7	6.6	14.6	7.9	X	X	X	X
<i>Dacryodes macrophylla</i> (Oliv.) H. J. Lam.	-	-	-	-	1	1.7	0.3	0.5	X	X	X	X
<i>Desbordesia glaucescens</i> (Engl.) Van Tiegh.	0.4	0.1	0.1	-	0.6	0.4	0.4	0.2		X	X	
<i>Diospyros crassiflora</i> Hiern	-	-	0.1	0.1	-	-	<0.1	<0.1	X	X		
<i>Discoglypemma caloneura</i> (Pax) Prain	0.1	0.6	0.3	1.1	1.5	0.7	0.5	0.5	X	X	X	X
<i>Distemonanthus benthamianus</i> Baill.	-	-	-	-	0.9	2	0.4	0.9	X	X	X	X
<i>Dracena arborea</i> (Willd.) Link	0.1	-	-	-	-	-	<0.1	-				
<i>Duboscia macrocarpa</i> Bocq.	-	-	-	-	0.2	-	0.1	-				
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	21.6	7.4	5	5.4	2.2	4.2	9.7	5.8	X	X	X	X
<i>Elaeophorbia drupifera</i> (Thonn.) Stapf	0.1	-	0.5	0.6	-	-	<0.1	<0.1				
<i>Entandrophragma angolense</i> (Welw.) C.DC	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	X	X	X	X
<i>Entandrophragma candollei</i> Harms	0.1	0.1	-	-	-	-	<0.1	<0.1		X		
<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague) Sprague	-	-	0.2	1.2	0.8	2.5	0.3	1.1	X	X	X	X
<i>Eriobroma oblonga</i> (Mast.) Pierre	-	-	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	X	X		
<i>Erythrococca</i> sp.	-	-	1.3	1.1	-	-	0.4	0.4	X	X	X	X
<i>Erythrophileum ivorense</i> A. Chev.	0.6	1.0	0.1	-	0.2	-	0.3	0.4	X	X	X	X
<i>Erythroxylum mannii</i> Oliv.	-	-	0.9	1.4	0.5	1.4	0.5	0.8	X	X	X	X
<i>Fagara heitzii</i> Aubrév. & Pellegr.	-	-	-	-	0.6	0.1	0.2	<0.1	X			X
<i>Ficus exasperata</i> Valh	0.2	0.7	1.2	1.4	2.7	2	1.3	1.3	X	X	X	X
<i>Ficus mucosa</i> Ficalho	0.9	0.5	1.1	1.8	4.5	2	2.1	1.4	X	X	X	X
<i>Ficus</i> sp.	0.1	-	-	-	-	-	<0.1	-				
<i>Ficus</i> Sur Forssk.	-	-	-	-	0.7	-	0.2	-				
<i>Gambeya lacourtiana</i> (Wild.) Aubrév. & Pellegr.	0.1	0.4	-	-	-	-	<0.1	0.1	X	X		X
<i>Garcinia afzelii</i> Engl.	0.1	0.2	-	-	-	-	<0.1	0.1	X	X	X	X
<i>Garcinia kola</i> Heckel	0.3	-	0.1	0.1	0.5	0.5	0.3	0.2	X	X	X	X
<i>Glyphaea brevis</i> (Spreng.) Monach.	0.1	-	-	-	0.2	-	0.1	-				

<i>Guibourtia tessmannii</i>	-	-	-	-	-	0.1	0.1	<0.1	<0.1	X	X
<i>Harungana madagascariensis</i> Lam. ex Poir.	0.1	-	-	-	-	0.1	-	0.1	-		
<i>Hevea brasiliensis</i> (A. Juss.) Müll. Arg.	0.2	-	0.9	0.4	0.1	-	-	0.4	0.1	X	X
<i>Hylodendron gabunense</i> Taub.	-	-	-	-	-	0.1	-	<0.1	-		
<i>Hypodaphnis zenkeri</i> (Engl.) Stapf	-	-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	<0.1	X	
<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry-Lecomte ex O'Rorke) Baill.	0.2	0.2	0.2	0.7	0.4	1.7	0.3	0.8	X	X	X
<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth.	0.3	0.2	-	-	-	-	-	0.1	0.1		X
<i>Klainedoxa gabonensis</i> Pierre ex Engl.	0.2	0.6	0.4	0.2	0.6	0.3	0.4	0.4	X	X	X
<i>Lannea welwitschii</i> (Hiern) Engl.	-	-	0.4	-	0.4	-	0.3	-			
<i>Lovoa trichilioides</i> Harms	-	-	0.4	0.9	0.5	1.5	0.3	0.7	X	X	X
<i>Macaranga barteri</i> Müll. Arg.	-	-	0.2	0.1	-	-	-	0.1	<0.1	X	X
<i>Macaranga hurifolia</i> Beille	-	-	-	-	1.2	0.5	0.4	0.1			
<i>Mangifera indica</i> L.	3.2	5.3	9.4	5.2	2.1	4.2	5	4.9	X	X	X
<i>Mansonia altissima</i> (A. Chev.) A. Chev.	-	-	5.9	1.6	-	-	2	0.5	X	X	
<i>Markhamia lutea</i> (Benth.) K. Schum.	0.2	-	-	-	0.5	-	0.2	-			
<i>Massularia acuminata</i> (G. Don) Bullock	-	-	-	-	0.4	-	0.1	-			
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C.C. Berg.	2.4	2.7	4.1	4.9	3.1	3.4	3.2	3.6	X	X	X
<i>Milletia</i> sp.	0.2	-	-	-	0.1	-	0.1	-			
<i>Morinda lucida</i> Benth.	-	-	0.3	0.7	1.1	1.8	0.4	0.8	X	X	
<i>Musanga cecropioides</i> R. Br.	-	-	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	X	X	X
<i>Myrianthus arboreus</i> P. Beauv.	-	-	-	-	0.3	0.2	0.1	0.1	X		
<i>Nuclea diderrichii</i> (De Wild. & T.Durand) Merr.	0.1	0.2	-	-	0.1	0.6	<0.1	0.2	X	X	
<i>Newbouldia laevis</i> (P. Beauv.) Seem. ex Bureau	2.5	0.4	0.3	0.1	0.9	1	1.2	0.5	X	X	X
<i>Ongokea gore</i> (Hua) Pierre	-	-	-	-	0.4	-	0.1	-			
<i>Pachylesma tessmannii</i> Harms	-	-	0.2	0.2	-	-	0.1	0.1	X		
<i>Pentaclethra macrophylla</i> Benth.	-	-	0.5	0.6	-	-	0.2	0.2			
<i>Persea americana</i> Mill.	5.6	7.6	21.9	7	10.6	4.8	12.8	6.6	X	X	X
<i>Petersianthus macrocarpus</i> (P. Beauv.) Liben	-	-	0.7	0.8	0.3	0.7	0.3	0.5	X	X	X
<i>Phyllanthus discoides</i> (Baill.) Müll. Arg.	0.4	-	0.5	0.5	2.4	0.5	1	0.3	X	X	
<i>Picralima nitida</i> (Stapf)	0.1	-	-	-	0.1	-	0.1	-			
<i>Piptadeniastrum africanum</i> (Hook. f.) Brenan	-	-	0.6	0.4	0.2	-	0.3	0.1	X	X	X
<i>Polyalthia suaveolens</i> Engl. & Diels	-	-	-	-	0.1	0.1	<0.1	<0.1			
<i>Porterandia cladantha</i> (K. Schum.) Keay.	0.3	-	-	-	0.9	0.7	0.4	0.2	X	X	X
<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A. Rich.) Engl.	0.7	0.1	-	-	0.1	0.1	0.3	0.1		X	X

<i>Psidium guajava</i> L.	0.1	-	0.1	0.4	-	-	0.1	0.1	X	X	X
<i>Pteleopsis hylanderson</i> Mildb.	0.5	0.1	-	-	-	-	0.3	0.1	X	X	X
<i>Pterocarpus soyauxii</i> Taub.	0.1	-	1.4	1.4	1.9	2.8	1.1	1.2	X	X	X
<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Warb	0.3	-	1.1	1.1	2.4	2.8	1.2	1.2	X	X	X
<i>Rauvolfia macrophylla</i> Stapf	0.1	-	-	-	0.3	1.2	0.1	0.3	X	X	X
<i>Rauvolfia vomitoria</i> Afzel.	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	X	X	X
<i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baill.) Pierre ex Heckel	0.5	0.3	1.4	2.3	1.7	4.4	1.2	2.1	X	X	X
<i>Schrebera arborea</i> A. Chev.	-	-	0.1	-	-	-	<0.1	-			
<i>Schumanniphyton magnificum</i> (K. Schum.) Harms	-	-	-	-	0.1	-	<0.1	-			
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	0.2	-	1.1	1.9	1.9	1.4	1	1	X	X	X
<i>Spondias cytherea</i> Sonn.	0.3	1.8	-	-	0.1	-	0.1	0.7	X	X	X
<i>Staudtia kamerunensis</i> Warb.	-	-	-	-	0.4	0.4	0.1	0.1		X	
<i>Sterculia rhinopetala</i> K. Schum.	0.1	-	0.8	1	0.4	0.7	0.4	0.5	X	X	X
<i>Symphonia globulifera</i> L. (Manil)	-	-	0.1	0.4	-	-	<0.1	0.1	X		
<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	-	-	2.4	3.2	10.5	3.3	4.2	2	X	X	X
<i>Tetrapleura tetraptera</i> (Schumach. & Thonn.) Taub.	-	-	-	-	0.4	0.5	0.2	0.2	X		
<i>Tetrorchidium didymostemon</i> (Baill.) Pax & K. Hoffm.	-	-	-	-	0.1	0.1	<0.1	<0.1	X		
<i>Tieghemella africana</i> Pierre	-	-	2.1	2.1	-	-	0.7	0.7	X	X	X
<i>Treculia africana</i> Decne	-	-	0.1	0.1	-	-	<0.1	<0.1		X	
<i>Trichoscypha acuminata</i> Engl.	-	-	0.1	-	0.2	0.4	0.1	0.1	X		X
<i>Trilepisium madagascariensis</i> DC.	0.1	-	-	-	-	-	<0.1	-			
<i>Triplochytos sclerocylon</i> K. Schum.	0.8	0.9	1	2.6	0.1	1.1	0.7	1.5	X	X	X
<i>Tristemma mauritanum</i> J. F. Gmel.	-	-	-	-	0.3	-	0.1	-			
<i>Uapaca guineensis</i> Müll. Arg.	0.3	0.2	-	-	-	-	0.1	0.1	X		X
<i>Vernonia conferta</i> Benth.	-	-	-	-	0.4	0.5	0.1	0.1	X	X	
<i>Vitex grandifolia</i> Gürke	0.4	0.4	-	-	0.1	0.2	0.2	0.2	X	X	X
<i>Voacanga africana</i> Stapf	1.4	0.5	0.7	1.2	-	-	0.7	0.6	X	X	X
<i>Xylopia aurantiodora</i> (De Wild & T. Durand)	-	-	0.1	0.1	1.2	0.5	0.4	0.2	X	X	X

Chapitre 4

Chapitre 4 : Le rendement en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est-il lié à leur structure ?

Ce travail se réfère à notre quatrième question de recherche. Nous formulons l'hypothèse que la structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est à l'origine des principales variations de rendement observées dans les cacaoyères du bassin de production du Centre-Sud du Cameroun. L'étude de la structure des cacaoyères agroforestières permet, à partir de l'analyse des composantes du rendement du cacaoyer, d'identifier les pratiques culturelles responsables de ces variations de rendement. De part le caractère pérenne des espèces en association, nous montrons que certaines modalités d'implantation des peuplements cacaoyers et des peuplements associés et certaines pratiques culturelles en phase adulte aboutissent à des structures de cacaoyères différentes qui peuvent déterminer des limites de production. Ces différentes structures sont également liées à des déterminants agro-écologiques.

Ce travail est présenté sous la forme d'un chapitre et fera l'objet d'un article intitulé « *Agronomic regional diagnosis of complex agroforestry systems. An application to cocoa agroforests in central Cameroon* » que nous soumettrons, après la thèse, à la revue *Agronomy for Sustainable Development*.

1. Introduction

Dans le contexte actuel de crise alimentaire et de changement climatique, les systèmes agroforestiers tropicaux apparaissent comme une alternative crédible pour atteindre les objectifs du millénaire en matière d'éradication de la faim et de lutte contre la pauvreté dans le monde (Garrity, 2004). Parmi les systèmes agroforestiers, ceux à base de cacaoyer présentent un intérêt particulier. En valeur, le cacao est la troisième matière première agricole échangée dans le monde (Anon, 2010). La production mondiale de cacao oscille entre 3,7 et 3,4 millions de tonnes et les $\frac{3}{4}$ de ces tonnages proviennent en fait de quatre pays africains : Côte d'Ivoire, Ghana, Nigéria et Cameroun (Anon, 2010). La cacaoculture est pratiquée par une majorité de petits agriculteurs pour qui la vente de cacao marchand demeure la principale source de revenu (Clay, 2004 ; Donald, 2004). En raison du déplacement permanent des zones de production (Ruf, 1995), la cacaoculture est cependant considérée comme l'une des principales causes de la déforestation en Afrique (Dixon et al., 2001). Les principaux pays producteurs de cacao sont donc confrontés à un double enjeu : ils doivent maintenir leur niveau de production en cacao marchand en raison de la place que cette matière première agricole occupe dans leur économie, notamment pour assurer le devenir des exploitations familiales qui en vivent, tout en stabilisant les zones de production existantes pour faire face à la disparition des espaces forestiers et réduire l'impact négatif de la cacaoculture sur l'environnement.

Ce double enjeu implique d'identifier un nouveau modèle technique qui permette de passer du modèle qui prévaut actuellement, en l'occurrence peu durable, à un autre modèle stabilisé et viable, davantage respectueux de l'environnement.

Dans ce contexte, les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, où le cacaoyer est associé à de nombreuses espèces pérennes, forestières et fruitières aux usages multiples, présentent plusieurs intérêts. Outre la production de cacao marchand, les différentes espèces associées aux cacaoyers fournissent aux agriculteurs d'autres productions qui sont autoconsommées ou vendues, ce qui leur permet de limiter les risques face à la volatilité des cours mondiaux du cacao. En matière d'environnement, les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer offrent une gamme de services tels que la conservation de la biodiversité, le maintien de la fertilité des sols et la séquestration du carbone (Duguma et al., 2001 ; Rice et Greenberg, 2000 ; Schroth et Harvey, 2007 ; Gockowski et Sonwa, 2010). Des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ont été décrits au Mexique (Salgado-Mora et al., 2007) et au Brésil (Ruf et Schroth, 1995). Il en existe aussi en Indonésie (Juhrbandt et al., 2010), mais également au Nigéria (Degrande et al. 2006 ; Oke et Odebiyi, 2007), au Ghana (Asare et Tetteh, 2010) et au Cameroun (Laird et al., 2007, Zapfack et al., 2002 ; Sonwa et al., 2007).

Il est toutefois communément admis que l'ombrage limite la productivité potentielle du cacaoyer (Asomaning et al., 1971 ; Wood et Lass, 1985 ; Lachenaud et Mossu, 1985). Au Centre Cameroun, les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer sont caractérisés par des rendements assez faibles en cacao marchand (Duguma et al., 2001 ; chapitre 1). Mais les causes de ces niveaux de rendement n'ont pas été étudiées et restent inconnues. Or, ces systèmes agroforestiers à base de cacaoyer présentent en général un rendement en cacao marchand stable dans le temps (chapitre 1), ce qui confirme qu'un modèle de cacaoculture durable est possible.

Figure 1 : Localisation de la région Centre et des zones d'étude.

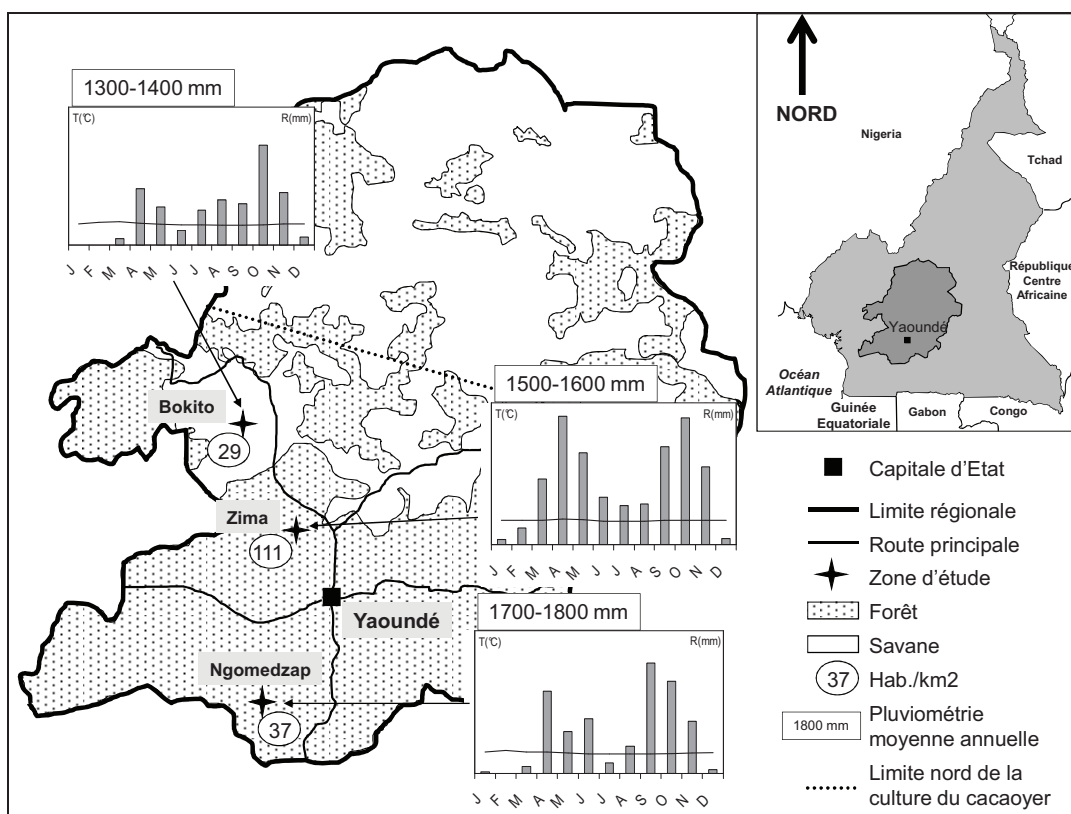
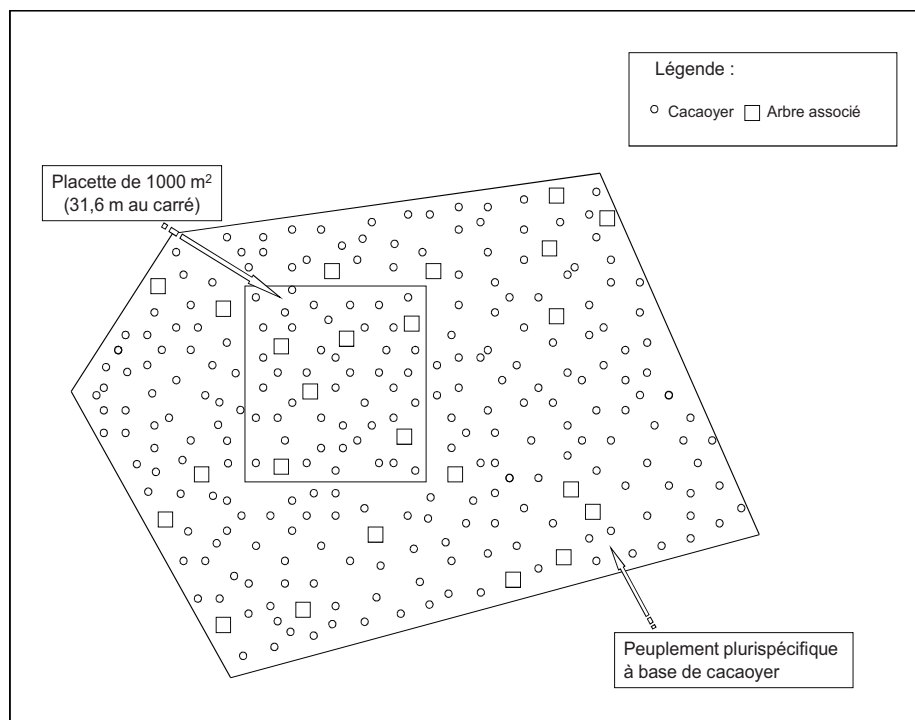


Figure 2 : Exemple du dispositif d'observation mis en place dans chaque cacaoyer.



L'objectif de notre étude est d'identifier les facteurs limitant le rendement en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer afin de proposer aux agriculteurs des voies d'amélioration de ces systèmes sans toutefois remettre en cause les services éco-systémiques qu'ils offrent, notamment en termes de séquestration du carbone, de conservation de la biodiversité et de lutte contre l'érosion du sol (Leakey, 1998 ; Franzen et Borgerhoff Mulder, 2007 ; Gockowski et Sonwa, 2010).

Nous avons mobilisé et adapté la méthode du diagnostic agronomique régional (Doré et al., 1997 ; 2008) dans un dispositif localisé dans la région du Centre Cameroun où des observations ont été réalisées dans 61 cacaoyères agroforestières.

2. Matériel et méthodes

2.1. Zones d'étude

Nos travaux de recherche ont été conduits sur un dispositif spécifique mis en place dans la région du Centre. Trois zones d'étude, représentatives du gradient pédo-climatique qui caractérise cette région (Santoir et Bodpa, 1995), ont été identifiées (figure 1).

Du nord au sud de la région du Centre, notre dispositif comprend les zones de :

- Bokito (département du Mbam et Inoubou), zone péri-forestière à faible pression foncière, où la densité de population est de 29 hab./km². Cette zone est caractérisée par une mosaïque de galeries forestières et de savanes herbacées à *Pennisetum purpureum* et à *Imperata cylindrica* sur des sols faiblement désaturés rajeunis ;
- Zima (département de la Lékié), zone forestière fortement anthropisée où la densité de population est supérieure à 100 hab./km². La végétation y est influencée par les défrichements et les cultures arbustives et les sols dominants sont ferrallitiques moyennement désaturés ;
- Ngomedzap (département du Nyong et So'o), zone forestière à faible pression foncière où la densité de population est de 37 hab./km². Cette zone est caractérisée par une végétation dominée par la forêt dense sempervirente et des sols ferrallitiques fortement désaturés.

Dans ces trois zones, la cacaoculture est exclusivement pratiquée par des populations autochtones appartenant aux groupes ethniques Yambassa (Bokito), Eton (Zima) et Ewondo (Ngomedzap).

2.2. Dispositif d'observation

Un réseau de parcelles d'agriculteurs a été installé en 2007 dans chaque zone. Les parcelles ont été choisies afin de disposer d'une gamme de cacaoyères représentatives des principaux stades d'évolution des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer au cours du temps, par variation de l'ancienneté des créations (chronoséquences). Quatre classes d'âge des cacaoyères ont été considérées : < 10 ans (cacaoyères juvéniles entrant en production), 10-20 ans (cacaoyères adultes en production), 21-40 ans (cacaoyères adultes susceptibles de connaître une décroissance des rendements) et > 40 ans (cacaoyères sénescentes).

Le dispositif comprend au total 61 parcelles dont l'âge varie de 5 ans à 77 ans, réparties en fonction des quatre classes d'âge des cacaoyères considérées (tableau 1).

Tableau 1 : Effectif des cacaoyères agroforestières par classe d'âge et par zone d'étude.

Zones d'étude	Classes d'âge des cacaoyères				Total
	< 10 ans	10-20 ans	21-40 ans	> 40 ans	
Bokito	3	7	4	7	21
Zima	4	4	4	7	19
Ngomedzap	3	5	8	5	21
Total	10	16	16	19	61

Dans chaque cacaoyère, une placette de 1000 m², représentative de la parcelle en termes de gestion technique du peuplement cacaoyer et des peuplements associés, a été positionnée afin de disposer d'un échantillon réduit d'individus susceptibles d'être observés (figure 2).

2.3. Méthodologie

2.3.1. Le diagnostic agronomique régional

La méthode de diagnostic agronomique régional permet de comprendre et interpréter, pour une culture donnée, les variations de rendement à l'échelle d'une région en mettant en évidence les facteurs environnementaux et les techniques culturales responsables des faibles rendements (Doré et al., 1997 ; 2008). Cette méthode est basée d'une part, sur les relations indirectes qui existent entre la production d'une parcelle et les pratiques culturales de l'agriculteur et d'autre part, sur l'existence de relations fortes entre les pratiques culturales entre elles (Sebillotte, 1974 ; 1978). La démarche de diagnostic agronomique régional combine des enquêtes et des expérimentations et comprend plusieurs étapes qui peuvent être adaptées selon les cas de figure (Boiffin et al., 1981 ; Aubry et al., 1994 ; Leterme et al., 1994 ; Doré et al., 1997).

Le diagnostic agronomique régional a principalement été utilisé pour l'étude de systèmes de culture homogènes en termes de composition et de structure, comprenant souvent une seule composante, généralement une espèce annuelle (Meynard et Sebillotte, 1983 ; Scopel et Louette, 1992 ; Leterme et al., 1994 ; Metral et Wéry, 2001). Au Cameroun, Michels (2005) et Rafflegeau (2008) ont cependant adapté cette méthode pour identifier les facteurs limitants du rendement de peuplements homogènes d'hévéa et de palmiers à huile. Ces deux auteurs ont distingué la phase juvénile de la phase productive afin d'identifier les points-clés de ces deux phases et leur conséquences agronomiques, puis les pratiques afférentes à la production des arbres adultes. Dans le cas des palmeraies juvéniles entrant en production, Rafflegeau (2008) a également considéré le rendement potentiel des palmiers à huile. Dans le cas des palmeraies adultes, le diagnostic agronomique a été réalisé en fonction de l'âge des peuplements pour tenir compte de l'évolution de certaines composantes du rendement au cours du temps, comme le nombre de régimes de noix de palme et leur poids.

L'application du diagnostic agronomique régional aux systèmes agroforestiers à base de cacaoyer soulève néanmoins d'autres difficultés méthodologiques liées à leurs spécificités. La complexité des systèmes agroforestiers implique notamment de disposer d'indicateurs pertinents qui permettent de caractériser les peuplements en tenant compte de leur hétérogénéité (Doré et al., 2008).

2.3.2. Spécificités des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et adaptation du diagnostic agronomique régional

2.3.2.1. Ancienneté des peuplements cacaoyers

La longueur du cycle biologique du cacaoyer peut aller jusqu'à 80 ans, voire davantage. Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer sont par ailleurs généralement anciens, comme au Centre Cameroun (chapitre 1). L'ancienneté des systèmes agroforestiers ne permet donc pas de mettre en évidence clairement les liens entre les modalités d'implantation, de conduite juvénile et de conduite en phase adulte des peuplements cacaoyers. De plus, la durée de la phase juvénile peut varier fortement en fonction du type de matériel végétal installé, des modalités de mise en place et des conditions de milieu (Braudeau, 1969 ; Wood et Lass, 1985). S'il s'agit de cacaoyers hybrides plantés dans des conditions optimales de production (densité et conditions d'éclaircissement), l'entrée en production des cacaoyers peut survenir dès la deuxième année après plantation au cours de laquelle des fleurs et les premiers fruits peuvent apparaître. Elle peut au contraire survenir huit à dix ans après la plantation, voire davantage, en cas de conditions d'ombrage excessif (Burle, 1961). En conséquence, nous ferons le choix d'analyser la variabilité des rendements en cacao marchand en évaluant les cacaoyères adultes âgées de plus de dix ans et en ne considérant pas les états végétatifs de la phase juvénile.

2.3.2.2. Plurispécificité du système de culture

La présence d'espèces pérennes associées aux cacaoyers (chapitres 1, 2 et 3) soulève le problème de leur positionnement dans l'examen des relations entre pratiques des agriculteurs, état du milieu et état du peuplement (Sebillotte 1974 ; 1978). Dans le cas des systèmes monospécifiques à base de plantes annuelles, l'état du milieu peut être caractérisé par le sol et le climat. Mais dans les systèmes agroforestiers complexes, de nombreuses interactions (facilitation ou concurrence) s'exercent au sein des systèmes entre les espèces en présence (Nair, 1993 ; Huxley, 1999). Les disponibilités en eau, en éléments minéraux et en lumière vont donc dépendre des relations de concurrence entre les cacaoyers et les différentes espèces qui y sont associées. Cela nous a amené à considérer les peuplements associés comme une variable supplémentaire au même titre que l'état du milieu.

2.3.2.3. Hétérogénéité et évolution des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer

L'hétérogénéité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer intervient à deux niveaux : celui du peuplement cacaoyer et celui des peuplements associés. En premier lieu, les pratiques de redensification des peuplements cacaoyers et les pratiques de régénération des cacaoyers âgés mises en œuvre par les agriculteurs aboutissent à des peuplements cacaoyers où se cotoient plusieurs générations de cacaoyers dont l'architecture peut varier fortement en fonction des interventions culturales dont ils font l'objet (chapitre 1).

Encadré 2 : La pourriture brune des cabosses en bref.

Cette maladie est due à un champignon phytopathogène, *Phytophthora megakarya* (Nyassé, 1997) qui induit sur la cabosse l'apparition de taches de couleur brune qui s'étendent rapidement et peuvent progressivement recouvrir toute sa surface (annexes : planche photos 2). Par temps humide, ces taches se recouvrent d'un feutrage mycélien blanchâtre. L'infection débute généralement à l'extrémité apicale ou pédonculaire des fruits. La progression de la maladie vers l'intérieur des tissus de la cabosse est plus lente. Les fèves sont atteintes avant la pourriture complète du fruit qui a lieu en quatre à douze jours. Si la cabosse attaquée est proche de la maturité, elle peut être récoltée avant que les fèves soient endommagées. Par contre, si l'attaque concerne une cabosse plus jeune et si la maladie a progressé à l'intérieur jusqu'à atteindre les fèves dont le mucilage, tout en se desséchant, a pris une teinte brune, elle devient inutilisable. Les cabosses peuvent être atteintes quel que soit leur stade de développement (Blaha et Lotodé, 1976). Au Cameroun, les dégâts occasionnés aux récoltes se traduisent par une perte de tonnage estimée en moyenne à 50 % de la production nationale (Varlet et Berry, 1997). En l'absence de traitements chimiques efficaces, les pertes peuvent atteindre plus de 80 % de la production dans certaines régions où la pluviométrie est élevée.

Encadré 3 : Quelques mots sur les mirides du cacaoyer.

Les mirides, *Distantiella theobromae* et surtout *Sahlbergella singularis* qui est l'espèce la plus fréquente au Centre-Sud du Cameroun (Babin, 2009), sont considérés comme le principal ravageur du verger cacaoyer (annexes : planche photos 2). Les dégâts occasionnés aux récoltes se traduisent en effet par une perte de tonnage estimée en moyenne à 30 % de la production nationale (Varlet et Berry, 1997). En l'absence de traitements chimiques efficaces, les pertes peuvent être plus élevées dans les cacaoyères où les attaques de mirides sont favorisées par la dégradation de la frondaison des cacaoyers et de l'ombrage forestier. Insectes piqueurs-suceurs, les mirides se rencontrent sur des arbres jeunes ou adultes. Ils piquent les jeunes fruits, l'extrémité des jeunes rameaux et les gourmands, ce qui provoque des nécroses et un flétrissement des branchettes. Les piqûres répétées détruisent progressivement l'appareil végétatif des cacaoyers par des dessèchements de rameaux, ce qui affecte la productivité et la longévité des arbres, voire leur mort en cas d'attaques fortes et en l'absence d'interventions phytosanitaires appropriées (Lavabre, 1970).

En second lieu, les pratiques agroforestières des agriculteurs aboutissent à des peuplements associés différents en termes de densité et de composition floristique, où les différences d'âge entre individus peuvent être importantes (chapitre 2).

L'évaluation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer à un temps t implique donc d'identifier des variables qui soient « *pertinentes et faciles à mesurer au champ en cours de cycle, en vue de caractériser l'état du peuplement et/ou du milieu et de relier ces états aux performances du champ cultivé* » (Loyce et Wéry, 2006). Par conséquent, nous évaluerons le rendement des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer en tenant compte de leur structure. Celle-ci sera caractérisée par des variables facilement mesurables à un temps t (densité, architecture, âge, composition floristique, etc.).

2.3.2.4. Spécificité de certaines pratiques en cacaoculture

Outre les pratiques d'implantation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, leur structure, en tant que combinaison de différents peuplements pérennes installés pour plusieurs décennies et sur lesquels les agriculteurs interviennent, est le reflet de pratiques spécifiques qui ont un effet à moyen et à long terme sur les rendements en cacao marchand (redensification des peuplements cacaoyers, régénération des cacaoyers, introduction ou élimination d'arbres associés aux cacaoyers) (chapitres 1 et 2). Ces pratiques, que l'on peut qualifier de pratiques de régénération⁹, sont différentes des pratiques d'entretien (entretien du sol, lutte contre la pourriture brune des cabosses) qui sont récurrentes annuellement et ont un impact à court terme sur le système.

Par ailleurs, contrairement aux pratiques de conduite annuelle, réalisées annuellement et sur la totalité de la parcelle, les pratiques de régénération sont réalisées ponctuellement par les agriculteurs qui gèrent, arbre par arbre, leurs cacaoyères. Les effets des pratiques de régénération se cumulent donc dans le temps mais ces pratiques sont difficilement quantifiables. Nous ferons le choix de ne pas intégrer les pratiques de conduite annuelle dans notre analyse mais au contraire d'y intégrer indirectement les pratiques qui ont un sens par rapport à la structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, c'est-à-dire les pratiques de construction et les pratiques d'entretien.

2.3.2.5. Autres adaptations du diagnostic agronomique régional

- Compte tenu du choix de ne pas considérer les pratiques de conduite annuelle, comme les traitements phytosanitaires contre la pourriture brune des cabosses (encadré 2), notre analyse de la variabilité des rendements en cacao marchand portera sur la production potentielle des cacaoyers. Cette notion de production potentielle ne tiendra pas compte des éventuelles pertes qui auront lieu au cours du développement des fruits, et qui sont principalement liées à la pourriture brune des cabosses (Ndoumbe-Nkeng, 2002).

⁹ Se reporter à la partie méthodologie de la thèse (3.2. Notion de pratiques).

- Par ailleurs, l'effet de la pluviométrie sur la productivité du cacaoyer a été observé depuis longtemps (Zuidema et al., 2005). Il existe ainsi un rapport étroit entre la récolte d'un mois donné et l'importance de la pluviométrie cinq ou six mois auparavant, et une corrélation entre l'importance de la récolte et la pluviométrie de l'année précédente (Wood et Lass, 1985 ; Lachenaud, 1991a). Aussi, nos observations sur l'estimation de la production des cacaoyers ont été réalisées sur deux années afin d'atténuer la variabilité inter-années.
- Les peuplements cacaoyers sont soumis à une forte pression parasitaire liée aux mirides (encadré 3). Estimer la pression parasitaire due à ce ravageur implique cependant de réaliser, chaque semaine, des comptages à vue de ces insectes afin d'estimer leur densité, ou de réaliser annuellement des lessivages à l'aide de traitements insecticides pour estimer les populations (Babin, 2009). Outre le fait que les lessivages sont destructifs pour les populations d'insectes autres que les mirides, ces deux méthodes sont également lourdes à mettre en place lorsque les cacaoyères à étudier sont nombreuses. Pour contourner cette difficulté, nous avons opté pour une estimation des dégâts des mirides en faisant l'hypothèse qu'ils seront le reflet de la pression parasitaire liée à ce ravageur dans les cacaoyères. Nous considérerons également cette variable comme une variable supplémentaire au même titre que l'état du milieu et les peuplements associés.

2.3.3. Elaboration du rendement d'une cacaoyère

2.3.3.1. La fructification du cacaoyer

Le cacaoyer est une plante cauliflore dont les inflorescences sont localisées sur le tronc et les branches principales. Les zones d'apparition des inflorescences évoluent en massifs appelés « *coussinets floraux* » qui produisent des fleurs pendant toute la vie de l'arbre (planche photos 1). Le fruit du cacaoyer est une pseudo-baie. Jusqu'à dix semaines environ, ce qui correspond à une taille de dix à douze centimètres selon le cultivar, le fruit du cacaoyer est appelé « *chérelle* ». Il est ensuite appelé « *cabosse* » et présente un péricarpe charnu qui renferme une cavité contenant des graines, ou « *fèves* », entourées d'une pulpe mucilagineuse épaisse (planche photos 1). La durée de développement de la cabosse, de la fécondation à la maturité, est de l'ordre de cinq à sept mois, mais elle varie cependant d'une cabosse à l'autre et dépend surtout de l'origine génétique du cacaoyer (Braudeau, 1969).

Les périodes de récolte des cabosses dépendent également de la climatologie. Au Centre-Sud du Cameroun, par exemple, où le climat est caractérisé par un régime pluviométrique bimodal avec une petite saison des pluies de mars à juin et une grande saison des pluies d'août à novembre, la récolte principale a ainsi lieu d'août à janvier et une récolte secondaire, dite « *intermédiaire* », peut occasionnellement avoir lieu d'avril à juin.

Une des particularités de la fructification du cacaoyer est la grande proportion de fruits qui ne parviennent pas à maturité et qui se dessèchent sur l'arbre (planche photos 1). Ce phénomène, appelé « *flétrissement des chérelles* » ou « *wilt physiologique* », peut concerner jusqu'à 90 % des fruits (Braudeau, 1969).

Le fait que les chérelles qui apparaissent les premières dans la saison et celles qui sont portées par le tronc ou les branches charpentières, d'un plus gros diamètre, aient plus de chances d'arriver à maturité que les autres, indiquerait que ce phénomène est causé par une concurrence entre les chérelles et les fruits plus âgés et les poussées foliaires (Alvim, 1977). Le flétrissement des chérelles est donc considéré comme un mécanisme physiologique de régulation de la production (Braudeau, 1969 ; Wood et Lass, 1985). Bien qu'il intervienne parfois jusqu'à 100 jours, 60 % des flétrissements ont lieu au cours des trois premières semaines (Bos et al., 2006) et ce phénomène n'intéresse que les jeunes fruits jusqu'à dix semaines (Lachenaud, 1991a). A cet âge, les chérelles flétries mesurent en général moins de dix centimètres. Cela nous a amené à considérer cette taille comme un seuil au-delà duquel on peut faire l'hypothèse que toute chérelle parviendra à maturité.

Avant fermentation, les fèves encore entourées de leur pulpe sont appelées « *fèves fraîches* ». Après fermentation puis séchage, ces fèves constituent le « *cacao marchand* » (planche photos 1).

2.3.3.2. Equation du rendement en cacao marchand

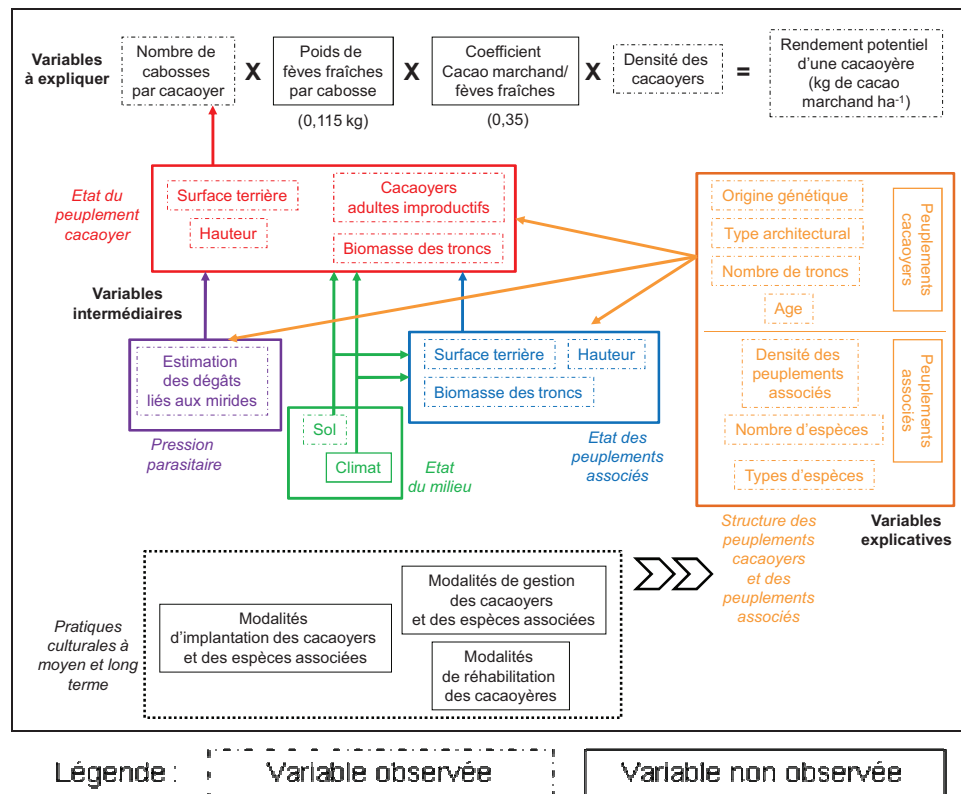
Au regard de ces différents éléments, l'équation du rendement en cacao marchand d'une cacaoyère (kg ha⁻¹) peut être formulée de la façon suivante :

$$Rdtem = (Nbcab \times Ptf \times Ct) \times Denscac$$

Où Nbcab : nombre moyen de cabosses par cacaoyer
 Pdf : poids moyen de fèves fraîches par cabosse (kg)
 Ct : coefficient de transformation poids de fèves fraîches/poids de cacao marchand
 Denscac : nombre de cacaoyers ha⁻¹

- Le nombre moyen de cabosses par arbre (Nbcab) est une variable quantifiable par des comptages de cabosses.
- Le poids moyen de fèves fraîches par cabosse (Pdf) est une variable qui dépend à la fois du nombre de fèves par cabosse et du poids d'une fève fraîche. Ces deux variables varient fortement dans le temps (Toxopeus et Wessel, 1970 ; Are et Atanda, 1972 ; Lachenaud, 1991a), mais aussi en fonction du matériel végétal et des conditions de culture (Lachenaud et Mossu, 1985). Ainsi, « *le nombre moyen de graines par cabosse varie avec le génotype de l'arbre-mère, l'origine génétique du pollen et certains facteurs nutritionnels comme l'emplacement sur l'arbre, la saison, la parcelle, le dispositif agronomique et les techniques culturales* » (Lachenaud, 1991a). Cet auteur a également montré l'importance prépondérante des facteurs nutritionnels dans la détermination du poids moyen d'une fève. « *Ces facteurs sont : la climatologie et tout particulièrement les longues sécheresses, la densité de plantation, les types d'écartement, l'ombrage et d'autres regroupés dans « l'effet-arbre » et peut-être lié à son histoire. La concurrence entre cabosses semble également jouer un rôle* ». Il apparaît ainsi que l'arbre porteur est un facteur très important de variation du poids moyen d'une fève sans que cela puisse être rapporté à sa vigueur morphologique et à sa charge en cabosses.

Figure 3 : Schéma d'élaboration du rendement potentiel en cacao marchand d'une cacaoyère agroforestière.



Estimer le poids moyen de fèves fraîches par cabosse implique donc un dispositif d'échantillonnage de cabosses et de pesée de fèves fraîches relativement lourd et difficile à mettre en œuvre compte tenu de l'hétérogénéité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer. Pour contourner cette difficulté, nous considérerons un poids moyen de fèves fraîches par cabosse de 115 g. Cette valeur moyenne a été obtenue par Babin (2009) suite à des mesures conduites en 2003 et 2004 dans des cacaoyères agroforestières similaires à celles de notre réseau d'observation et localisées dans les mêmes zones d'étude.

- Le coefficient de transformation poids de fèves fraîches/poids de cacao marchand (Ct) est une variable considérée comme constante (Braudeau, 1969 ; Lachenaud, 1984). Nous retiendrons la valeur de 0,35 (Lachenaud, 1984).
- La densité des cacaoyers (Denscac) est une variable quantifiable par un comptage des plants dans un espace donné.

Le poids de fèves fraîches par cabosse (Pdf) et le coefficient de transformation poids de fèves fraîches/poids de cacao marchand (Ct) étant fixés, l'équation du rendement en cacao marchand d'une cacaoyère (kg ha^{-1}) peut finalement s'écrire de la façon suivante :

$$\text{Rdcm} = (\text{Nbcab} \times 0,115 \times 0,35) \times \text{Denscac}$$

Où Rdcm = rendement en cacao marchand (kg ha^{-1})
 Nbcab : nombre moyen de cabosses par cacaoyer
 0,115 : poids moyen de fèves fraîches par cabosse (kg)
 0,35 : coefficient de transformation poids de fèves fraîches/poids de cacao marchand
 Denscac : nombre de cacaoyers ha^{-1}

2.3.3.3. Schéma d'élaboration du rendement en cacao marchand

Le schéma d'élaboration du rendement potentiel en cacao marchand que nous proposons dans le cas d'une cacaoyère agroforestière est présenté figure 3.

Trois types de variables sont considérés :

- Les variables à expliquer : - le rendement potentiel en cacao marchand ;
 - le nombre moyen de cabosses par cacaoyer ;
 - la densité des cacaoyers.
- Des variables de structure des peuplements cacaoyers (origine génétique, type architectural, nombre de troncs) et des peuplements associés (densité, types et nombre d'espèces) que nous avons considéré comme des variables explicatives car elles résultent directement des pratiques des agriculteurs ;
- Des variables intermédiaires qui sont des indicateurs de la pression parasitaire, de l'état du milieu, de l'état du peuplement cacaoyer de l'état des peuplements associés.

Encadré 4 : Liste des variables mobilisées pour le diagnostic agronomique régional du peuplement cacaoyer dans les systèmes agroforestiers du Centre Cameroun.				
Type de variable	Groupe de variables	Variables	Code	Unité
Variables à expliquer				
Rendement potentiel en cacao marchand			Rdcm	kg ha ⁻¹
Nombre moyen de cabosses par cacaoyer			Nbcab	n
Densité des cacaoyers			Denscac	n ha ⁻¹
Variables explicatives				
Structure du peuplement cacaoyer	Origine génétique	Amelonado	Amel	%
		Hybrides	Hybr	%
	Type architectural	Type 0	T0	%
		Type 1	T1	%
		Type 2	T2	%
		Type 3	T3	%
		Type 4	T4	%
		Type 5	T5	%
	Nombre moyen de troncs par cacaoyer		Nbtroncac	N
	Age	Age de la cacaoyère	Age	années
Age moyen des cacaoyers		Agecac	années	
Structure des peuplements associés	Densité	Densité des arbres associés	Densarb	n ha ⁻¹
		Densité des arbres forestiers	Densfor	n ha ⁻¹
		Densité des arbres fruitiers	Densfru	n ha ⁻¹
	Nombre d'espèces associées aux cacaoyers		Nbesp	n/placette
	Type d'espèces associées aux cacaoyers			
Variables intermédiaires				
Etat du peuplement cacaoyer	Surface terrière	Surface terrière moyenne par cacaoyer	Surfcac	cm ²
		Surface terrière totale du peuplement cacaoyer	Surftotcac	cm ²
		Surface terrière relative du peuplement cacaoyer	Surfrelcac	%
	Hauteur	Hauteur moyenne de la couronne	Hautcac	m
	Biomasse des troncs	Biomasse relative des troncs du peuplement cacaoyer	Biorelcac	%
	Cacaoyers adultes improductifs	Cacaoyers > 5 ans improductifs	%cacimpro	%
Etat des peuplements associés	Surface terrière	Surface terrière moyenne par arbre	Surfarb	cm ²
		Surface terrière totale des peuplements associés	Surftotarb	cm ²
		Surface terrière relative des peuplements associés	Surfrelarb	%
	Hauteur	Hauteur moyenne des peuplements associés	Hautarb	m
		Hauteur moyenne des arbres forestiers	Hautfor	m
		Hauteur moyenne des arbres fruitiers	Hautfru	m
Biomasse des troncs	Biomasse relative des troncs des peuplements associés	Biorelarb	%	
Pression parasitaire	Notation des dégâts liés aux mirides sur les cacaoyers	Présence de poussées foliaires	Mir1	n
		Présence de feuilles sèches	Mir2	n
		Présence de branches dénudées	Mir3	n
		Présence de chancres	Mir4	n
Etat du milieu	Caractéristiques du sol	Matière organique	MO	%
		pH	pH	n
		Argiles (%)	Argi	%
		Limons (%)	Limo	%
		Sables (%)	Sabl	%
Variables descriptives				
Agrobiodiversité	Indice de Shannon-Weaver		H'	n
	Indice de richesse spécifique		IR	n

L'état du peuplement cacaoyer et l'état des peuplements associés sont évalués par des groupes de variables : surface terrière (individuelle et totale), hauteur, biomasse des troncs et proportion de cacaoyers adultes improductifs.

L'encadré 4 présente l'ensemble des variables que nous avons retenues.

2.3.3.4. Les variables à expliquer

Le rendement

Le rendement potentiel d'une cacaoyère (R_{dtcm}) est exprimé en kg de cacao marchand ha^{-1} et dépend du nombre moyen de cabosses par cacaoyer et de la densité des cacaoyers. Le nombre moyen de cabosses par arbre et la densité des cacaoyers sont donc les composantes du rendement à partir desquelles nous tenterons d'une part, d'expliquer *a posteriori* les différences de rendement des cacaoyères et d'autre part, d'identifier les caractéristiques du milieu et les pratiques culturales à l'origine des variations de rendement.

Le nombre moyen de cabosses par cacaoyer

Le nombre moyen de cabosses par cacaoyer (N_{bcab}) a été estimé à partir du nombre de fruits d'une longueur supérieure à dix centimètres. Ces fruits ne sont plus susceptibles d'être atteints par le wilt physiologique (Lachenaud, 1991a ; Bos et al., 2006), et nous ferons l'hypothèse que leur développement ira à son terme. Le comptage des fruits a été réalisé par un marquage à la peinture, sur chaque cacaoyer, en 2007 et 2008, à raison de trois passages par an effectués en juin/juillet, août/septembre et octobre/novembre, soit un total de six passages en deux années d'observation. Cette périodicité a permis de tenir compte de l'apparition progressive des fruits après le début de la saison des pluies, celle-ci étant décalée de plusieurs semaines entre le sud (zones forestières) et le nord (zone de transition forêt-savane) de la région du Centre.

Le nombre de cabosses d'un peuplement cacaoyer est le cumul des six comptages de cabosses effectués sur tous les individus qui le composent. La productivité par cacaoyer, exprimée en nombre moyen de cabosses, a été calculée à partir de la production moyenne du peuplement cacaoyer au cours des deux années d'observation rapportée au nombre de cacaoyers présents dans la placette.

La densité des cacaoyers

Le nombre de cacaoyers par placette a été compté. La densité des cacaoyers (D_{enscac}) a été extrapolée à partir du comptage des individus présents dans chaque placette.

2.3.3.5. Les variables explicatives

Les variables de structure du peuplement cacaoyer

Les variables de structure du peuplement cacaoyer que nous avons considérées sont liées aux pratiques d'implantation et de gestion des cacaoyers au cours du temps. Ainsi, la densité des cacaoyers et leur origine génétique sont le reflet des modalités de mise en place des cacaoyers mais également des pratiques de redensification des peuplements cacaoyers.

Figure 4 : Principales architectures de cacaoyers identifiées au Centre Cameroun.

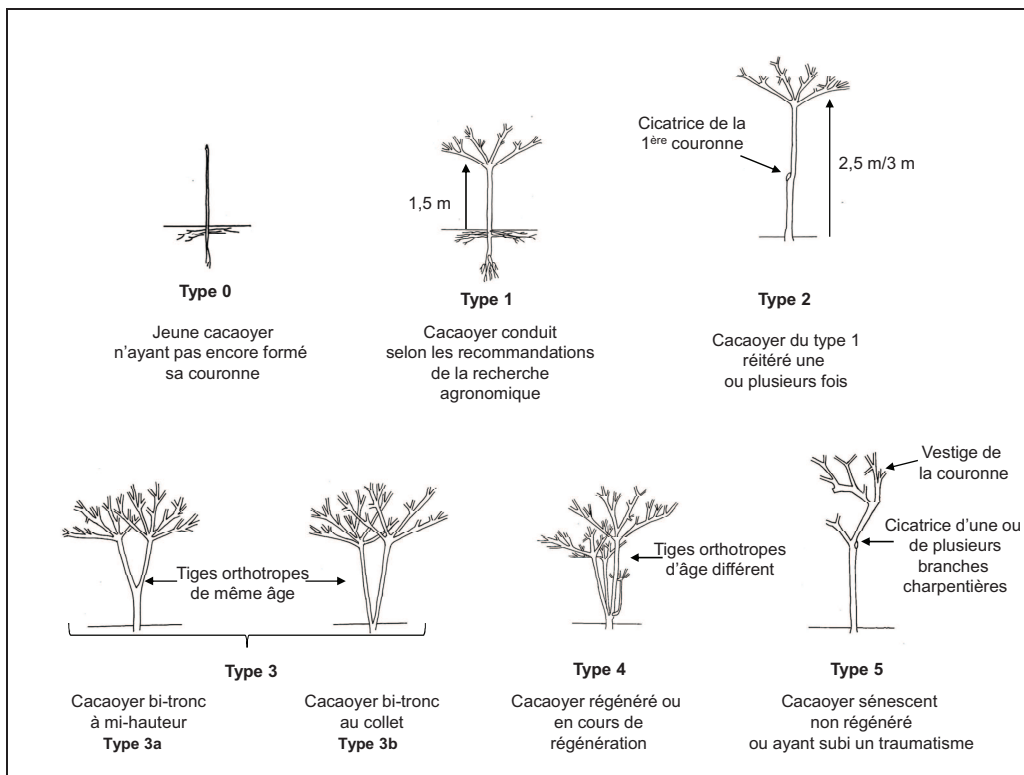
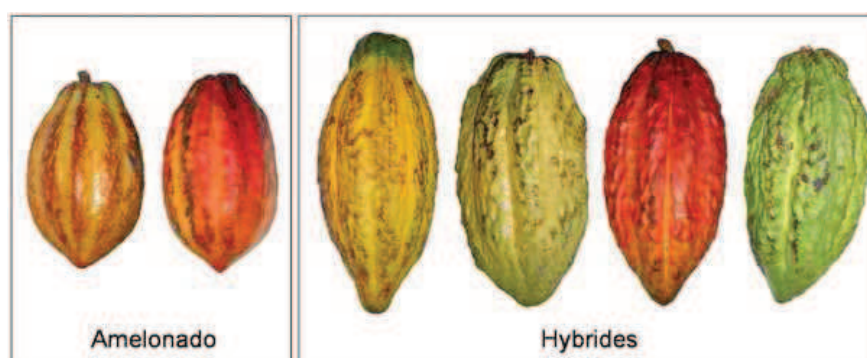


Figure 5 : Caractérisation morphologique des cabosses des deux principaux types génétiques de cacaoyers identifiés au Centre Cameroun (Babin, 2009).



Les pratiques de redensification des cacaoyères interviennent également sur l'âge moyen des cacaoyers (chapitre 1). Le nombre moyen de troncs par cacaoyer est une variable liée aux pratiques de régénération des cacaoyers qui permettent aux agriculteurs de renouveler le tronc et la couronne des cacaoyers âgés devenus sénescents.

- La densité des cacaoyers est à la fois une composante du rendement et une variable explicative en tant que caractéristique de la structure des peuplements cacaoyers.
- Le nombre de troncs de chaque cacaoyer a été compté.
- Le nombre total de troncs d'un peuplement cacaoyer est la somme des troncs de tous les individus qui le composent.
- Le type architectural des cacaoyers a été défini individuellement à partir des six types architecturaux que nous avons préalablement identifiés (figure 4). Le profil architectural d'un peuplement cacaoyer est la proportion, exprimée en %, des différents types architecturaux qui le caractérisent.

Les types 0 et 1 correspondent aux premiers stades de développement de cacaoyers conduits sur un seul tronc au niveau de la première couronne, tel que recommandé par la recherche agronomique. Le type 2 est représentatif de cacaoyers sur lesquels l'agriculteur a laissé croître un rejet orthotrope pour qu'une seconde couronne, plus haute que la première, puisse se développer. Les types 3a et 3b sont des cacaoyers dont le développement orthotrope initial a été contrarié suite à la destruction du bourgeon terminal. Ce traumatisme a souvent pour conséquence la formation de deux troncs de même âge situés à la base de la souche, ou à mi-hauteur du tronc initial, qui ont formé chacun une couronne. Le type 4 correspond aux cacaoyers sénescents régénérés par les agriculteurs, ou en cours de régénération, et sur lesquels l'agriculteur a laissé se développer plusieurs rejets orthotropes d'âge différent à la base du tronc initial avant d'éliminer ce dernier. Le type 5 correspond aux cacaoyers sénescents non régénérés ou ayant subi un traumatisme qui a entraîné la disparition d'une partie de la couronne.

- L'origine génétique des cacaoyers a été déterminée, pour les individus productifs, à partir d'un examen des caractéristiques morphologiques des cabosses. Le profil génétique d'un peuplement cacaoyer est la proportion, exprimée en %, des deux origines génétiques préalablement identifiées au Centre Cameroun par Babin (2009) (figure 5). Le matériel végétal Amelonado, également appelé « cacao allemand », est un Forastero dont les cabosses sont caractérisées par leur forme ovale et lisse très superficiellement sillonnée et une base légèrement étrangée en goulot de bouteille. Le matériel végétal hybride a généralement pour base génétique des Trinitario, forme hybride entre Forastero et Criollo, qui ont servi de base génétique dans de nombreux programmes de sélection conduits au Cameroun. Il s'agit d'un matériel végétal amélioré distribué par les organismes de développement dont les cabosses présentent des caractéristiques morphologiques variables mais globalement différentes de celles des Amelonado.
- L'âge des cacaoyers a été estimé individuellement avec l'agriculteur.

- L'âge d'un peuplement cacaoyer est la moyenne des âges de tous les individus qui le composent. Cette notion est différente de l'âge des cacaoyères qui a été calculé à partir de l'année de création de ces dernières et de l'année de mise en place du réseau d'observation, à savoir 2007.

La caractérisation de la structure des peuplements cacaoyers a été réalisée en 2007.

Les variables de structure des peuplements associés

Les variables de structure des peuplements associés que nous avons considérées sont liées aux pratiques d'implantation et de gestion de ces peuplements au cours du temps. La densité des peuplements associés et le type d'espèces associées aux cacaoyers sont en effet le reflet des modalités de mise en place des cacaoyères : conservation de certaines espèces en zone forestière après défriche ou, au contraire, installation de certaines espèces en zone de transition forêt-savane pour contrôler *Imperata cylindrica* et installer un ombrage favorable aux cacaoyers (chapitre 2). La densité des peuplements associés et le type d'espèces associées sont également liés aux pratiques de gestion de l'ombrage des agriculteurs qui se traduisent par l'élimination ou l'introduction d'arbres dans les cacaoyères.

- La densité des peuplements associés. Dans chaque placette, le nombre d'arbres associés aux cacaoyers a été compté en considérant tous les individus d'une hauteur supérieure à un mètre. La densité des peuplements associés a été extrapolée à partir de ce comptage.
- Un inventaire des arbres associés aux cacaoyers a été réalisé dans chaque placette. Leur identification a été basée sur les noms vernaculaires exprimés en Yambassa (Bokito), en Eton (Zima) et en Ewondo (Ngomedzap). Les correspondances en noms communs et en noms scientifiques ont été établies à l'aide de lexiques de botanique (Vivien et Faure, 1985 ; Wilks et Issembé, 2000 ; Eyog Matig et al., 2006).
- Les espèces forestières ont été distinguées des espèces fruitières, sachant que nous avons considéré comme espèces fruitières, les espèces exotiques comme *Citrus sinensis*, *Citrus limon*, *Citrus reticulata*, *Citrus grandis*, *Persea americana*, *Mangifera indica*, *Psidium guajava*, *Spondias cytherea*, etc., et les espèces locales telles que *Elaeis guineensis*, *Dacryodes edulis*, *Cola nitida*, *Canarium occidentale*, *Irvingia gabonensis*, *Ricinodendron heudelotii*, *Vouaganga africana*, *Garcinia cola*.
- Le nombre d'espèces associées aux cacaoyers par placette a été déterminé à partir de l'inventaire floristique.

La caractérisation de la structure des peuplements associés a été réalisée en 2007.

2.3.3.6. Les variables intermédiaires

Les variables d'état du peuplement cacaoyer

- La surface terrière moyenne par cacaoyer. La relation entre la productivité des cacaoyers et leur vigueur est connue et a été mise en évidence par plusieurs auteurs (Glendinning, 1960 ; 1966 ; Lachenaud et Mossu, 1985). La surface terrière d'un cacaoyer, c'est-à-dire sa section transversale permet d'estimer la « *quantité* » de bois de cacaoyer. La surface terrière d'un cacaoyer a été calculée à partir de la circonférence du (des) tronc(s) de chaque cacaoyer mesurée à un mètre du sol pour les cacaoyers adultes, et à partir du diamètre au collet mesuré à 20 cm du sol pour les cacaoyers âgés de moins de cinq ans.
- La surface terrière totale d'un peuplement cacaoyer est la somme des surfaces terrières de tous les individus qui le composent. Cet indice permet d'estimer la surface au sol occupée par le peuplement cacaoyer.
- La surface terrière relative d'un peuplement cacaoyer permet de comparer la surface au sol qu'il occupe par rapport à celle des peuplements associés.
- La hauteur de la couronne des cacaoyers est un indicateur de leur croissance et peut varier selon les conditions de culture et d'environnement (Braudeau, 1969). Dans une ambiance très ombragée, le jeune cacaoyer aura tendance à davantage croître et sa couronne sera donc plus haute. Ce sera l'inverse dans un environnement ensoleillé. La hauteur de la couronne de chaque cacaoyer, exprimée en mètre, a été mesurée à l'aide d'un gabarit gradué. La hauteur des couronnes d'un peuplement cacaoyer est la moyenne des hauteurs des couronnes de tous les individus qui le composent.
- La biomasse relative des troncs d'un peuplement cacaoyer a été obtenue à partir de la somme des biomasses des troncs de tous les individus qui composent le peuplement cacaoyer, lesquelles ont été estimées en multipliant la surface terrière de chaque individu par la hauteur de sa couronne. La biomasse relative des troncs d'un peuplement cacaoyer permet de comparer le volume de bois qu'il représente par rapport à celui des peuplements associés.
- Le taux de cacaoyers adultes improductifs. Les conditions d'environnement influencent fortement la productivité d'un cacaoyer adulte qui peut être, par exemple, pratiquement nulle en cas d'ombrage trop important (Burle, 1961). Pour tenir compte de ce facteur, le taux de cacaoyers adultes improductifs par placette a été calculé à partir des comptages de cabosses par individu. Ce taux correspond aux cacaoyers âgés de plus de cinq ans dont la production moyenne au cours des deux années d'observation est inférieure à deux cabosses par an, rapporté au nombre total de cacaoyers.

Les observations sur l'état du peuplement cacaoyer ont été réalisées en 2007.

Les variables de pression parasitaire

La pression parasitaire liée aux mirides a été estimée par une notation des dégâts provoqués par ces dernières sur les frondaisons des cacaoyers. Ces dégâts ont été évalués à l'aide d'une échelle de notation, allant de 0, en cas d'absence de dégâts à 3 en cas de dégâts très importants (Brun et al., 1997 ; Sounigo et al., 2003). Quatre types de dégâts ont été évalués :

- la présence de poussées foliaires à contre-saison, qui indiquent que le cacaoyer a subi récemment des attaques de mirides importantes ;
- la présence de feuilles sèches, correspondant à des dégâts récents (quelques semaines) liés à des attaques de mirides sur les poussées foliaires (annexes : planche photos 2) ;
- la présence de branches dénudées, qui témoignent d'attaques de mirides plus anciennes (quelques mois) et qui s'accompagnent souvent d'infections cryptogamiques ;
- la présence de chancres, qui matérialisent la réaction de cicatrisation du cacaoyer aux attaques de mirides et qui s'accumulent sur le tronc et les branches au cours de leur croissance (annexes : planche photos 2).

Pour chaque type de dégâts, chaque placette a été notée simultanément et de manière non concertée par quatre observateurs différents. La note finale obtenue par placette est la moyenne des quatre notes attribuées.

La notation des dégâts liés aux mirides a été réalisée en 2009, en un seul passage, en saison sèche.

Les variables d'état du milieu

Afin de caractériser les sols sous cacaoyers, des prélèvements de sols ont été réalisés en 2008 dans la couche superficielle du sol de chaque placette (0-20 cm) afin de déterminer leurs caractéristiques physiques (% d'argiles, % de limons et % de sables), leur pH et leur teneur de matière organique. Les échantillons de terre ont été constitués à partir d'un mélange de dix prélèvements pris à différents points de la placette. Les analyses de sols ont été effectuées au laboratoire des sols de l'Institut de recherche agricole pour le développement (Irada) situé à Nkolbisson.

La teneur en carbone total a été estimée par la méthode de Walkley et Black (Walkley et Black 1934). Après minéralisation à froid et réaction avec le bichromate de potassium, la concentration en carbone a été déterminée par spectrophotométrie. La teneur en matière organique correspond à la teneur en carbone total multipliée par 1,72.

Les variables d'état des peuplements associés

- La surface terrière de chaque arbre, c'est-à-dire sa section transversale a été calculée à partir de la circonférence du (des) tronc(s) mesurée à hauteur d'homme dans le cas des arbres adultes, soit environ 1,5 m, et à 0,5 m dans le cas des arbres juvéniles.

- La surface terrière totale d'un peuplement associé est la somme des surfaces terrières de tous les arbres qui le composent.
- La hauteur de la frondaison de chaque arbre, a été mesurée à l'aide d'un dendromètre. La hauteur des frondaisons d'un peuplement associé est la moyenne des hauteurs des frondaisons tous les arbres qui le composent.
- La biomasse relative des troncs d'un peuplement associé a été obtenue à partir de la somme des biomasses des troncs de tous les arbres qui composent le peuplement associé, lesquelles ont été estimée en multipliant la surface terrière de chaque arbre par la hauteur de sa frondaison. La biomasse relative des troncs d'un peuplement associé permet de comparer le volume de bois qu'il représente à celui du peuplement cacaoyer.

Les observations sur l'état des peuplements associés ont été réalisées en 2007.

2.3.3.7. Les variables descriptives

Pour compléter la caractérisation de la structure des peuplements associés aux cacaoyers, le niveau d'agrobiodiversité de chaque placette a été estimé à partir de deux indices.

- L'indice de richesse spécifique qui permet d'évaluer l'abondance des espèces.
- L'indice de Shannon-Weaver qui permet d'évaluer le niveau de diversité compte tenu des proportions de chacune des espèces sur la parcelle (Krebs, 1985).

2.4. Analyses statistiques

Une analyse de variance (Anova) a été appliquée sur les différentes variables étudiées. Les comparaisons de moyennes entre les classes d'âge des cacaoyères et les zones d'étude ont été effectuées par le test de Fisher. Quand des différences significatives entre les moyennes ont été observées, le test de Newmann-Keuls a été utilisé pour comparer les moyennes entre les traitements. Les valeurs significativement différentes ont été identifiées par des lettres différentes dans les tableaux.

Nous avons utilisé la régression linéaire simple pour rechercher les relations entre le rendement potentiel en cacao marchand et ses composantes. Les relations entre le rendement, les composantes du rendement et les autres facteurs du rendement ont été étudiées en deux étapes : d'abord au niveau du peuplement cacaoyer (état et structure du peuplement cacaoyer), puis ensuite au niveau du système agroforestier dans son ensemble (état du milieu, état et structure des peuplements associés, pression parasitaire liée aux mirides).

A chaque étape, une matrice de corrélation a permis d'éliminer de l'analyse les variables redondantes (coefficient de corrélation de Pearson $r > 0,80$) et de ne conserver que les variables présentant une corrélation dont le coefficient r est $> 0,45$ (ddl = 49 et $p < 0,05$) que nous avons considéré comme des variables « *principales* ». Ensuite, une Analyse en composantes principale (Acp) a été réalisée en positionnant les différentes parcelles et les centres de gravité des zones d'étude.

Figure 6 : Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de rendement potentiel.

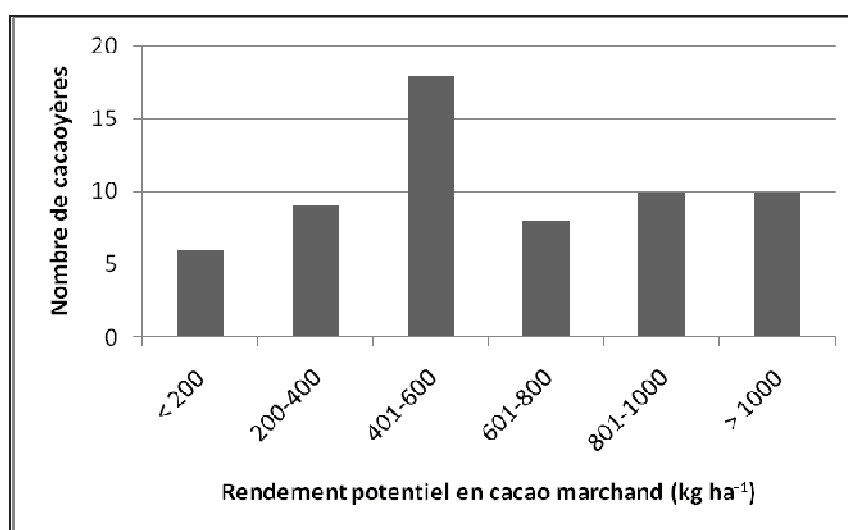
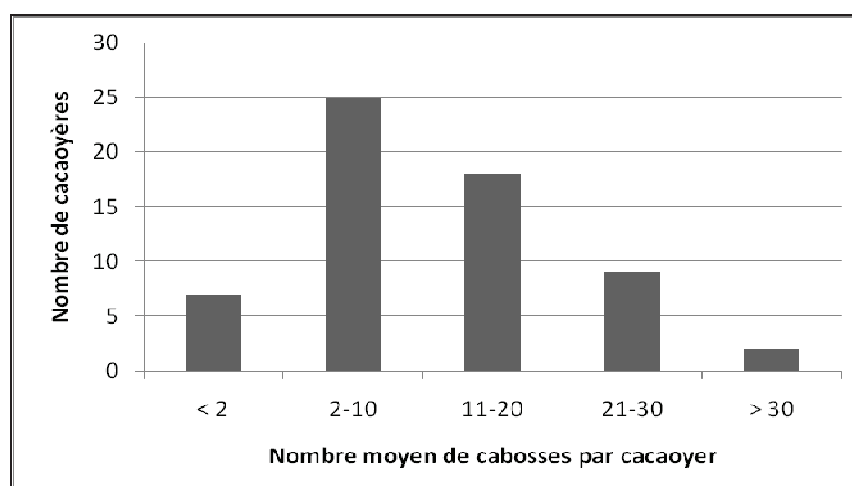


Tableau 2 : Rendement potentiel, nombre de cabosses par cacaoyer et densité des cacaoyers par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Rendement potentiel (kg de cacao marchand ha ⁻¹)	Nombre moyen de cabosses par cacaoyer	Densité de cacaoyers ha ⁻¹
< 10 ans	229 (± 59,81) b	4,3 (± 1,32) b	1 751 (± 235,92) a
10-20 ans	703 (± 109,20) a	10,5 (± 1,99) a	1 933 (± 240,21) a
21-40 ans	726 (± 103,97) a	15,8 (± 3,46) a	1 452 (± 136,88) a
> 40 ans	764 (± 69,47) a	15,2 (± 1,67) a	1 342 (± 90,34) a
Zones d'étude			
Bokito	643 (± 70,08) a	13,6 (± 1,52) a	1 217 (± 65,49) a
Zima	783 (± 132,71) a	15,6 (± 3,70) a	1 751 (± 194,92) a
Ngomedzap	547 (± 57,52) a	9,2 (± 1,49) a	1 723 (± 130,03) a
Moyenne	649 (± 50,92)	12,6 (± 1,34)	1 557 (± 82,67)
CV	0,59	0,80	0,40

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Figure 7 : Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de nombre moyen de cabosses par cacaoyer.



Enfin, une Classification ascendante hiérarchique (Cah) a été réalisée afin d'obtenir une typologie des cacaoyères en fonction de leur rendement potentiel en cacao marchand et de leurs principales caractéristiques (composantes du rendement, état et structure du peuplement cacaoyer, état et structure des peuplements associés). L'objectif de cette typologie est d'identifier la classe de cacaoyères la plus performante en termes de rendement potentiel en cacao marchand et d'examiner ses caractéristiques en termes de structure.

3. Résultats

3.1. Caractérisation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer du Centre Cameroun

3.1.1. Rendement en cacao marchand et composantes du rendement

3.1.1.1. Rendement en cacao marchand

Sur l'ensemble du dispositif, le rendement potentiel en cacao marchand des peuplements cacaoyers est en moyenne de 649 kg ha⁻¹. La répartition des cacaoyères par classe de rendement montre de grandes disparités : une grande partie des cacaoyères se concentre autour de la moyenne mais on observe que plusieurs parcelles ont un rendement potentiel supérieur à 800 kg de cacao marchand ha⁻¹ (figure 6).

Une différence significative de rendement est mise en évidence entre les cacaoyères de moins de 10 ans où le rendement moyen est de 229 kg ha⁻¹ et les cacaoyères plus âgées où le rendement moyen est compris entre 703 et 764 kg ha⁻¹ (tableau 2). Par contre, après 10 ans, aucune différence significative de rendement n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères, ce qui confirme la relative stabilité du rendement des cacaoyères adultes déjà mise en évidence dans les chapitres 1 et 2.

Aucune différence significative de rendement n'est mise en évidence entre les zones d'étude. La zone de Ngomedzap est cependant caractérisée par le rendement potentiel en cacao marchand le plus bas.

3.1.1.2. Nombre moyen de cabosses par cacaoyer

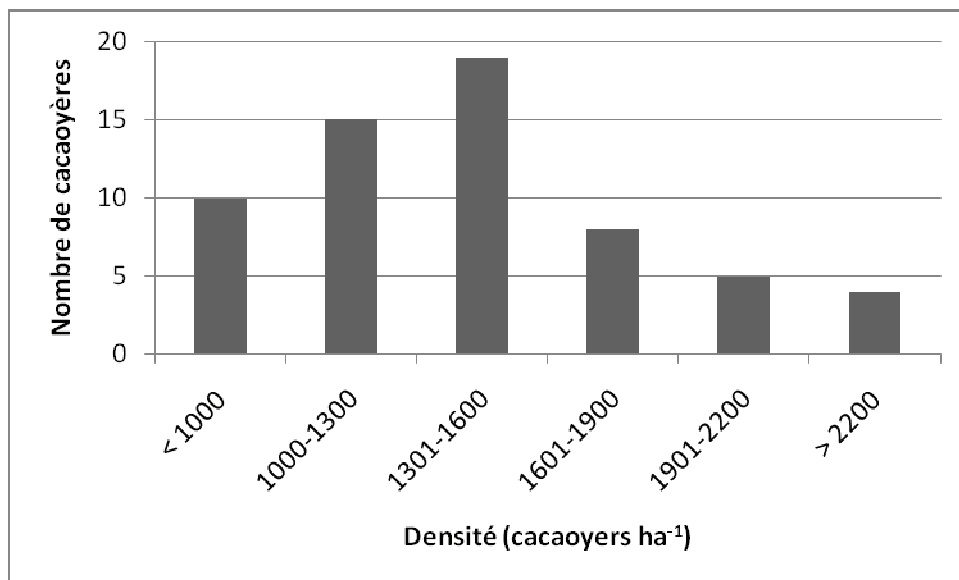
Le nombre moyen de cabosses par cacaoyer est de 12,6. On observe qu'une grande partie des cacaoyères se concentre autour de la moyenne, mais une forte variabilité entre parcelles est toutefois constatée, le nombre moyen de cabosses par cacaoyer pouvant être inférieur à 10 cabosses dans certaines parcelles et supérieur à 30 cabosses dans d'autres parcelles (figure 7).

Une différence significative de nombre moyen de cabosses par cacaoyer est mise en évidence entre les cacaoyères de moins de 10 ans, où il est de 4,3, et les cacaoyères plus âgées où il varie de 10,5 à 15,8 (tableau 2). Aucune différence significative de nombre moyen de cabosses par cacaoyer n'est mise en évidence entre les zones d'étude. La zone de Ngomedzap présente cependant la valeur la plus basse : 9,2 cabosses en moyenne par cacaoyer contre plus de 13 ailleurs.

3.1.1.3. Densité des peuplements cacaoyers

La densité des cacaoyers est en moyenne de 1 557 plants ha^{-1} . La répartition des cacaoyères par classe de rendement montre une forte variabilité parcellaire (figure 8). Si la densité de plusieurs cacaoyères est comprise entre 1 300 et 1 600 cacaoyers ha^{-1} , ce qui correspond généralement aux normes recommandées par la recherche agronomique (Braudeau, 1969 ; Wood et Lass, 1985), on observe que dans certains cas, elle peut être relativement basse (inférieure à 1 000 plants ha^{-1}) ou, au contraire, très élevée (supérieure à 2 000 plants ha^{-1}).

Figure 8 : Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de densité des cacaoyers.



Aucune différence significative de densité n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères (tableau 2). On observe cependant une diminution du nombre de cacaoyers ha^{-1} dans les cacaoyères les plus âgées, dynamique déjà observée dans les cacaoyères installées dans la zone de transition forêt-savane (chapitre 2). Aucune différence significative de densité n'est mise en évidence entre les zones d'étude. La densité des cacaoyers est toutefois plus élevée à Zima et à Ngomedzap, où elle est supérieure à 1 700 plants ha^{-1} , qu'à Bokito où elle est en moyenne de 1 217 plants ha^{-1} , confirmant ce que nous avons déjà observé (chapitre 1).

3.1.2. Structure du peuplement cacaoyer

3.1.2.1. Nombre de troncs

Globalement, le nombre moyen de troncs par cacaoyer est de 1,4. Une différence significative de nombre moyen de troncs par cacaoyer est mise en évidence entre les cacaoyères de plus de 40 ans et les cacaoyères moins âgées (tableau 3). L'augmentation du nombre moyen de troncs par cacaoyer avec l'ancienneté des cacaoyères est à relier aux pratiques de régénération des cacaoyers âgés mises en œuvre par les agriculteurs (chapitre 1). Cette opération a en effet pour objectif de laisser se développer un ou plusieurs rejets à la base du cacaoyer avant d'éliminer le tronc d'origine. Les cacaoyers âgés recépés se caractérisent ainsi par un nombre moyen de troncs significativement plus élevé que les individus plus jeunes.

Tableau 3 : Nombre moyen de troncs par cacaoyer et densité de troncs de cacaoyers ha⁻¹ par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Nombre moyen de troncs par cacaoyer	Densité de troncs de cacaoyers ha ⁻¹
< 10 ans	1,1 (± 0,03) b	1 911 (± 209,60) a
10-20 ans	1,2 (± 0,07) b	2 370 (± 322,68) a
21-40 ans	1,3 (± 0,03) b	1 840 (± 164,80) a
> 40 ans	1,7 (± 0,07) a	2 215 (± 160,11) a
Zones d'étude		
Bokito	1,3 (± 0,05) a	1 626 (± 91,59) a
Zima	1,4 (± 0,09) a	2 318 (± 222,43) a
Ngomedzap	1,4 (± 0,07) a	2 325 (± 169,79) a
Moyenne	1,4 (± 0,04) a	2 082 (± 103,04) a
CV	0,22	0,37

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Le nombre de troncs de cacaoyers ha⁻¹ est en moyenne de 2 082. Aucune différence significative de nombre de troncs ha⁻¹ n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères et entre les zones d'étude (tableau 3).

La relative stabilité de cette variable au cours du temps, alors que dans le même temps, on observe d'une part, une augmentation significative du nombre moyen de troncs par cacaoyer et d'autre part, une diminution la densité des cacaoyers (tableau 2), suggère que l'accroissement du nombre moyen de troncs par cacaoyer avec l'ancienneté des cacaoyères pourrait compenser la diminution du nombre de cacaoyers.

Figure 9 : Profil génétique des peuplements cacaoyers par classe d'âge des cacaoyères.

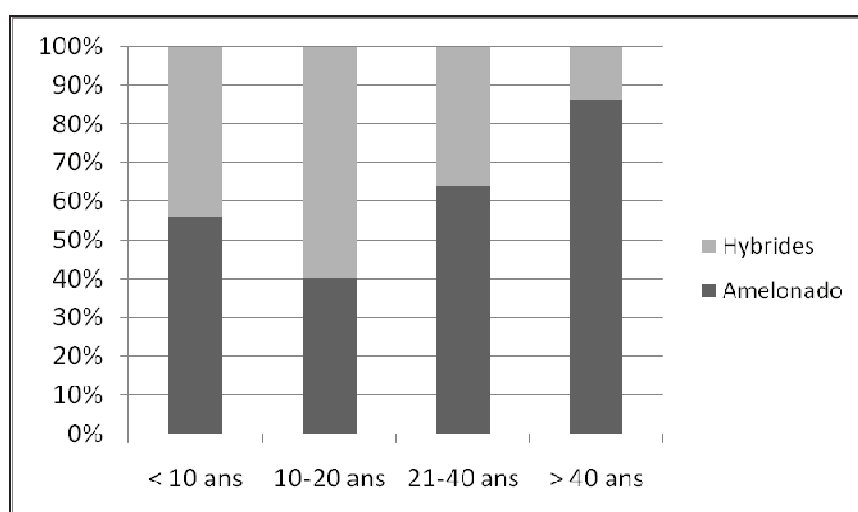


Figure 10 : Profil génétique des peuplements cacaoyers par zone d'étude.

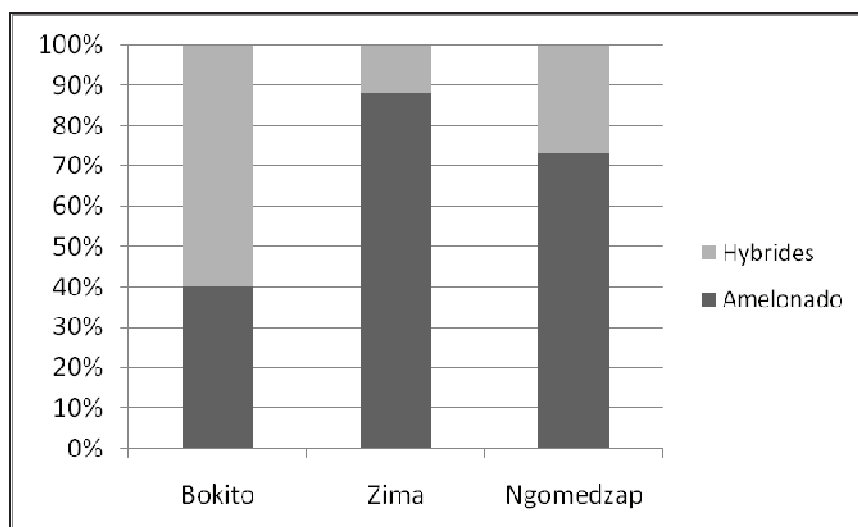
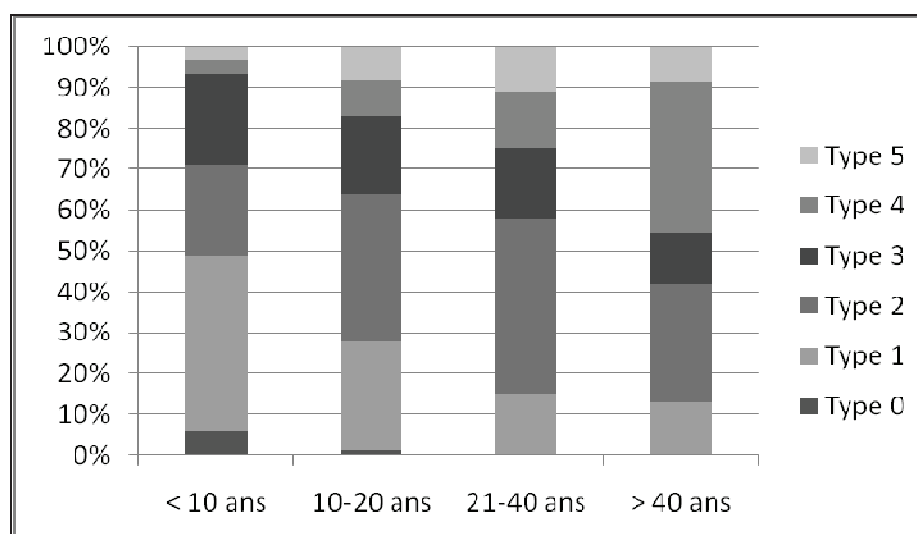


Figure 11 : Profil architectural des peuplements cacaoyers par classe d'âge des cacaoyères.



3.1.2.2. Origine génétique

Sur l'ensemble du dispositif, les cacaoyers Amelonado représentent 66 % des effectifs. Une différence significative d'origine génétique est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères et entre les zones d'étude. La proportion de cacaoyers Amelonado est significativement supérieure dans les cacaoyères âgées de plus de 40 ans où elle est de 86 % alors que dans les cacaoyères plus jeunes elle varie de 40 % à 64 % (figure 9). La présence importante d'Amelonado dans les cacaoyères les plus âgées s'explique par la diffusion tardive des hybrides dont les distributions massives aux agriculteurs par les organismes de développement ont en fait principalement eu lieu qu'à partir des années 1970 (Assoumou, 1977)¹⁰.

La proportion de cacaoyers Amelonado est également significativement supérieure dans les zones de Zima et de Ngomedzap, où elle représente respectivement 88 % et 73 % des cacaoyers, par rapport à la zone de Bokito où, au contraire, les cacaoyers hybrides dominent et représentent 60 % des effectifs (figure 10). La présence importante d'hybrides dans les cacaoyères de Bokito peut s'expliquer par le décalage entre les zones forestières de Zima et de Ngomedzap, où la cacaoculture s'est diffusée massivement dès les années 1930, et la zone de transition forêt-savane de Bokito, où le développement de la cacaoculture a été plus tardif (chapitre 1). Dans cette zone, un plus grand nombre de cacaoyères a ainsi été mis en place à partir de matériel végétal sélectionné distribué à partir des années 1970.

3.1.2.3. Profil architectural

Les types architecturaux 2, 1 et 4 sont globalement les plus fréquemment rencontrés. Ils représentent en moyenne respectivement 33 %, 21 % et 19 % des effectifs. Le type architectural 3 représente 17 % des cacaoyers alors que les types architecturaux 5 et 0 représentent respectivement 8 % et 2 % des cacaoyers. Aucune différence significative de type architectural n'est mise en évidence entre les zones d'étude.

Le profil architectural des cacaoyères évolue fortement avec l'ancienneté des cacaoyères (figure 11). La proportion des types architecturaux 0 et 1 diminue significativement lorsque l'on passe des cacaoyères de moins de 10 ans (6 et 43 %) aux cacaoyères plus âgées. La tendance est moins nette en ce qui concerne les types 2 et 3 qui représentent respectivement entre 22 et 44 % et entre 13 et 22 % des effectifs selon les classes d'âge. Par contre, la proportion de type 4 est significativement supérieure dans les cacaoyères âgées de plus de 40 ans (36 %) par rapport aux autres classes d'âge. Ces différents éléments confirment que la structure des cacaoyères évolue au cours du temps et sont à relier aux pratiques de régénération mises en œuvre par les agriculteurs. Les types 0 et 1 correspondent en effet aux premiers stades de développement des cacaoyers et sont principalement présents dans les jeunes cacaoyères. En raison des pratiques de redensification permanente des peuplements cacaoyers (chapitre 1), on retrouve cependant ces deux types architecturaux quelle que soit la classe d'âge des cacaoyères considérée. Par contre, les pratiques de régénération concernent davantage les cacaoyères les plus âgées (chapitre 1) et expliquent que la proportion du type 4, représentatif des cacaoyers recépés, augmente au cours du temps.

¹⁰ Pour plus de détails sur les grandes phases qui ont marqué le développement historique de la cacaoculture au Centre-Sud du Cameroun, se référer au chapitre 5 de la thèse.

3.1.3. Structure des peuplements associés aux cacaoyers

3.1.3.1. Nombre et espèces associées aux cacaoyers

Au total, 91 espèces autres que le cacaoyer ont été inventoriées dans les 61 placettes du réseau d'observation (annexe 1). Trente huit espèces ont été inventoriées dans la zone de transition forêt-savane de Bokito, pour 37 espèces dans la zone forestière de Zima et 70 espèces dans celle de Ngomedzap (tableau 4).

Tableau 4 : Répartition des espèces associées aux cacaoyers par type d'espèce et par zone d'étude.

Type d'espèce	Zones d'étude		
	Bokito	Zima	Ngomedzap
Espèces fruitières	15	11	11
Espèces forestières	23	26	59
Total	38	37	70

Le nombre d'espèces fruitières inventoriées dans les cacaoyères diminue lorsque l'on passe de la zone de Bokito aux zones de Zima et de Ngomedzap. La tendance est contraire en ce qui concerne le nombre d'espèces forestières. Ces différences régionales dans la composition floristique des cacaoyères sont à relier aux variations de milieu qui caractérisent les trois zones d'étude. La zone de transition forêt-savane est en effet caractérisée par une mosaïque de forêts-galeries et de savane où les agriculteurs installent des cacaoyères en introduisant massivement de nombreuses espèces fruitières dans la parcelle (chapitre 2). Ailleurs, les agriculteurs installent les cacaoyères après une défriche forestière en conservant de nombreux arbres forestiers, pour leur intérêt économique ou pour procurer un ombrage léger aux cacaoyers, et introduisent ensuite quelques arbres fruitiers dans la parcelle (Duguma et al., 2001).

En moyenne, 10 espèces sont associées aux cacaoyers dans chaque parcelle. Ce chiffre diminue significativement avec l'ancienneté des cacaoyères, passant de 13 dans les cacaoyères de moins de 10 ans à 8 dans les cacaoyères de plus de 40 ans (tableau 5).

Tableau 5 : Nombre d'espèces associées aux cacaoyers par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Nombre d'espèces associées par cacaoyère
< 10 ans	13 ($\pm 1,31$) a
10-20 ans	10 ($\pm 0,97$) ab
21-40 ans	10 ($\pm 1,58$) ab
> 40 ans	8 ($\pm 0,59$) ab
Zones d'étude	
Bokito	7 ($\pm 0,65$) b
Zima	10 ($\pm 1,10$) ab
Ngomedzap	12 ($\pm 1,17$) a
Moyenne	10 ($\pm 0,61$)
CV	0,48

Par contre, le nombre d'espèces associées aux cacaoyers est significativement plus bas dans la zone de transition forêt-savane de Bokito.

3.1.3.2. Densité

Sur l'ensemble du dispositif, la densité moyenne des arbres associés aux cacaoyers est de 204 arbres ha⁻¹. Celle des arbres fruitiers est de 129 arbres ha⁻¹ alors que la densité moyenne des arbres forestiers est de 87 arbres ha⁻¹. La densité des arbres associés aux cacaoyers diminue significativement avec l'ancienneté des cacaoyères. Cela est également vrai pour la densité des arbres fruitiers et celle des arbres forestiers (tableau 6). Ces résultats confirment ceux que nous avons obtenus dans les cacaoyères de la transition forêt-savane (chapitre 2). Quelle que soit la zone considérée, les agriculteurs optent pour une densité des arbres associés élevée lors de l'installation des cacaoyères. Ensuite, le pilotage par les agriculteurs des différentes espèces pérennes se traduit notamment par une réduction significative de leur densité pour compenser la croissance des arbres associés aux cacaoyers en éliminant au cours du temps les individus en surnombre.

Tableau 6 : Densité des peuplements associés aux cacaoyers par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Densités (ha ⁻¹)		
	Tous types d'arbres	Arbres fruitiers	Arbres forestiers
< 10 ans	307 (± 49,39) a	204 (± 52,37) a	139 (± 21,00) a
10-20 ans	249 (± 36,51) ab	209 (± 51,47) a	75 (± 21,16) ab
21-40 ans	192 (± 28,35) bc	87 (± 13,79) b	105 (± 27,32) ab
> 40 ans	138 (± 14,37) c	84 (± 12,55) b	53 (± 8,43) b
Zones d'étude			
Bokito	200 (± 27,27) a	202 (± 33,83) a	35 (± 7,59) c
Zima	194 (± 33,49) a	113 (± 24,53) b	80 (± 15,54) b
Ngomedzap	215 (± 26,21) a	73 (± 12,91) b	142 (± 20,15) a
Moyenne	204 (± 16,32)	129 (± 16,00)	87 (± 10,66)
CV	0,60	0,93	0,92

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Aucune différence significative de densité des arbres associés aux cacaoyers n'est mise en évidence entre les zones d'étude. La densité des arbres fruitiers associés aux cacaoyers est toutefois significativement plus élevée dans la zone de transition forêt-savane de Bokito. La densité des arbres forestiers associés aux cacaoyers est par contre significativement plus élevée dans les zones forestières de Zima et de Ngomedzap.

Les différents éléments de caractérisation des systèmes étudiés montrent que leur structure varie dans le temps et selon les conditions de milieu. La structure des peuplements cacaoyers peut ainsi évoluer en termes d'architecture et de densité en fonction des modalités de conduite adoptées par les agriculteurs. La structure des peuplements associés varie en termes de densité et de composition floristique en fonction du contexte pédo-climatique et des modalités de gestion adoptées par les agriculteurs.

Figure 12 : Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de surface terrière moyenne par cacaoyer.

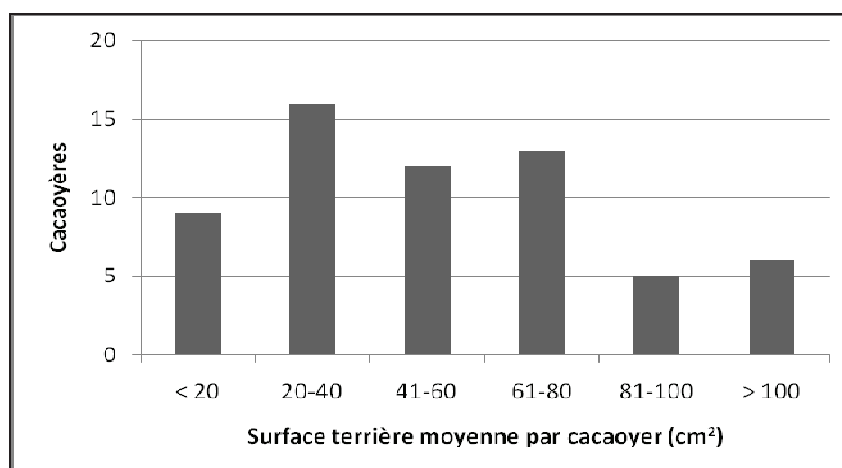
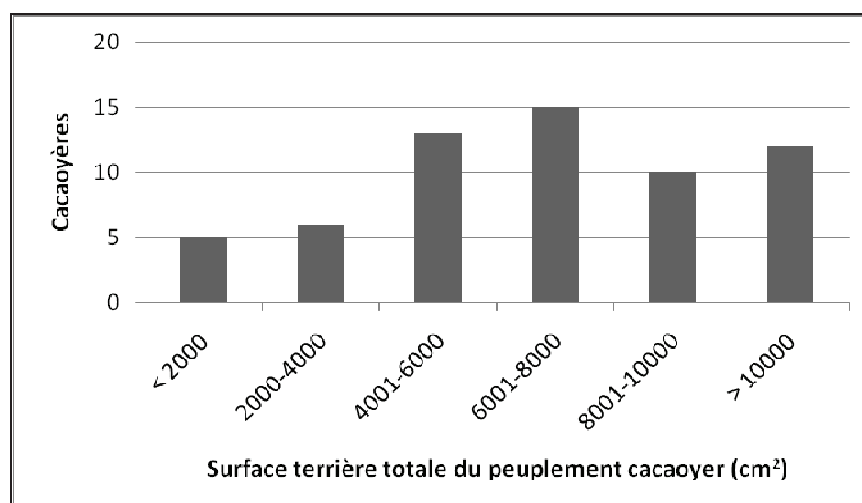


Tableau 7 : Surface terrière moyenne par cacaoyer, surface terrière totale et hauteur des peuplements cacaoyers par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Surface terrière moyenne par cacaoyer (cm ²)	Surface terrière totale des cacaoyers (cm ²)
< 10 ans	16,3 (± 3,05) d	2 451 (± 325,98) c
10-20 ans	38,8 (± 5,74) c	6 601 (± 708,70) b
21-40 ans	58,9 (± 7,14) b	7 278 (± 473,43) b
> 40 ans	76,4 (± 6,66) a	9 825 (± 852,72) a
Zones d'étude		
Bokito	64,2 (± 7,49) a	7 464 (± 819,33) a
Zima	57,7 (± 9,47) a	8 062 (± 1171,23) a
Ngomedzap	40,7 (± 5,03) a	6 239 (± 506,81) a
Moyenne	53,8 (± 4,34)	7 195 (± 482,46)
CV	0,60	0,50

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Figure 13 : Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de surface terrière totale du peuplement cacaoyer.



3.1.4. Etat du peuplement cacaoyer

3.1.4.1. Surface terrière

Surface terrière moyenne par cacaoyer

La surface terrière moyenne par cacaoyer est 53,8 cm² (tableau 4). La répartition des cacaoyères par classe de surface terrière moyenne par cacaoyer montre cependant de grandes disparités entre parcelles : la surface terrière moyenne par cacaoyer peut varier de 20 cm², voire moins, à plus de 100 cm² selon les parcelles (figure 12).

La surface terrière moyenne par cacaoyer augmente significativement avec l'ancienneté des cacaoyères, passant de 16,3 cm² dans les cacaoyères de moins de 10 ans à 76,4 cm² dans les cacaoyères de plus de 40 ans (tableau 7).

Si l'augmentation de la surface terrière moyenne par cacaoyer avec l'ancienneté des cacaoyères traduit une relation physiologique, elle peut aussi refléter l'impact de l'augmentation du nombre moyen de troncs par cacaoyer suite à la régénération des cacaoyers âgés par les agriculteurs. Aucune différence significative de surface terrière n'est mise en évidence entre les zones d'étude, la zone de Ngomedzap présentant toutefois la valeur la plus basse.

Surface terrière totale des peuplements cacaoyers

Pour une superficie observée de 1 000 m², la surface terrière totale des peuplements cacaoyers est en moyenne de 7 195 cm². La répartition des cacaoyères par classe de surface terrière totale des peuplements cacaoyers montre cependant une forte variabilité entre parcelles (figure 13). La surface terrière totale des peuplements cacaoyers peut ainsi varier de 2 000 cm², voire moins, à plus de 10 000 cm² selon les parcelles.

On observe que la surface terrière totale des peuplements cacaoyers augmente significativement avec l'ancienneté des cacaoyères (tableau 5). A l'instar de la surface terrière moyenne par cacaoyer, la surface terrière totale des peuplements cacaoyers peut à la fois traduire une relation physiologique et refléter l'impact la régénération des cacaoyers âgés sur leur développement végétatif. Aucune différence significative de surface terrière totale n'est mise en évidence entre les zones d'étude, la zone de Ngomedzap présentant cependant la valeur la plus basse.

3.1.4.2. Hauteur

La hauteur des cacaoyers est en moyenne de 2,7 m (tableau 8). Elle augmente significativement avec l'âge des cacaoyères, passant de 1,7 m en moyenne dans les cacaoyères de moins de 10 ans à 3,1 m dans les cacaoyères de plus de 40 ans.

Aucune différence significative de hauteur n'est mise en évidence entre les zones d'étude. La zone de Ngomedzap présente cependant la valeur la plus basse.

Tableau 8 : Hauteur moyenne des cacaoyers et cacaoyers adultes improductifs par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Hauteur moyenne des cacaoyers (m)	Cacaoyers adultes improductifs (%)
< 10 ans	1,7 (\pm 0,09) c	18,6 (\pm 6,45) a
10-20 ans	2,4 (\pm 0,16) b	27,7 (\pm 4,92) a
21-40 ans	2,9 (\pm 0,12) a	22,4 (\pm 4,89) a
> 40 ans	3,1 (\pm 0,12) a	17,6 (\pm 2,43) a
Zones d'étude		
Bokito	2,8 (\pm 0,13) a	16,3 (\pm 3,08) b
Zima	2,9 (\pm 0,22) a	17,6 (\pm 4,02) b
Ngomedzap	2,4 (\pm 0,12) a	28,4 (\pm 3,82) a
Moyenne	2,7 (\pm 0,09)	21,1 (\pm 2,19)
CV	0,26	0,78

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

3.1.4.3. Cacaoyers adultes improductifs

Le taux de cacaoyers adultes improductifs, cacaoyers de plus de cinq ans qui ont produit moins de deux cabosses en moyenne sur les deux années d'observation, est en moyenne de 21,1 % (tableau 6). Aucune différence significative de taux de cacaoyers adultes improductifs n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères. Mais cette variable est significativement plus élevée à Ngomedzap, où le taux de cacaoyers adultes improductifs atteint 28,4 %, qu'à Bokito et Zima, où il est respectivement de 16,3 % et de 17,6 %. Quelle que soit la classe d'âge des cacaoyères et la zone d'étude, les cacaoyères agroforestières sont donc caractérisées par un taux élevé de cacaoyers adultes improductifs. Celui-ci peut être la conséquence des pratiques de redensification permanente des peuplements cacaoyers adoptées par les agriculteurs (chapitre 1). Ce taux élevé de cacaoyers adultes improductifs peut être aussi lié aux conditions d'environnement des cacaoyers : il est en effet communément admis que l'ombrage limite la productivité potentielle des cacaoyers (Braudeau, 1969).

Les premiers éléments de caractérisation de l'état du peuplement cacaoyer, à travers les variables de surface terrière et de hauteur, mettent en évidence des relations physiologiques liées à l'âge des cacaoyers. L'évolution de la surface terrière avec l'ancienneté des cacaoyères est aussi probablement liée aux pratiques de régénération des cacaoyers âgés mais cela reste à confirmer. On observe par ailleurs que les peuplements cacaoyers de Ngomedzap sont les moins vigoureux, en termes de surface terrière et de hauteur. Ils présentent également le taux de cacaoyers adultes improductifs le plus élevé. Dans le même temps, les systèmes agroforestiers de Ngomedzap se distinguent principalement de ceux des autres zones par la structure des peuplements associés aux cacaoyers, où dominent les espèces forestières, ce qui suggérerait un éventuel lien de cause à effet entre la structure du système et l'état du peuplement cacaoyer.

3.1.5. Etat des peuplements associés aux cacaoyers

3.1.5.1. Surface terrière

Tous types d'arbres confondus, la surface terrière totale des peuplements associés est en moyenne de 17 589 cm² pour une superficie observée de 1 000 m² (tableau 7). La surface terrière totale des arbres fruitiers est en moyenne de 6 964 cm² et celle des arbres forestiers est en moyenne de 10 625 cm² (tableau 9).

Tableau 9 : Surface terrière totale des peuplements associés aux cacaoyers par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Surface terrière totale (cm ²)		
	Tous types d'arbres	Arbres fruitiers	Arbres forestiers
< 10 ans	17 502 (± 2 843,32) a	6 381 (± 1 290,01) a	11 120 (± 2 047,69) a
10-20 ans	17 711 (± 4 610,11) a	7 132 (± 1 883,62) a	10 578 (± 4 859,19) a
21-40 ans	19 934 (± 2 413,78) a	7 954 (± 1 967,21) a	11 979 (± 2 285,38) a
> 40 ans	15 572 (± 2 116,88) a	6 320 (± 956,90) a	9 251 (± 1 971,95) a
Zones d'étude			
Bokito	15 884 (± 3 216,66) a	9 037 (± 1 598,81) a	6 846 (± 2 887,23) a
Zima	17 785 (± 2 001,02) a	6 449 (± 1 262,94) a	11 335 (± 1 500,94) a
Ngomedzap	19 054 (± 1 827,90) a	4 509 (± 1 003,15) a	13 648 (± 1 998,75) a
Moyenne	17 589 (± 1 405,22)	6 964 (± 771,79)	10 625 (± 1 340,92)
CV (%)	0,60	0,83	0,95

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Quel que soit le type d'arbres, aucune différence significative de surface terrière totale n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères. Cette observation est à relier à l'évolution de la densité des peuplements associés avec l'âge des cacaoyères (tableau 4). Elle confirme que les agriculteurs compensent la croissance des arbres associés aux cacaoyers en éliminant au cours du temps les individus en surnombre : les modalités de gestion des peuplements associés par les agriculteurs se traduisent en effet par une stabilité de la surface terrière totale des arbres associés alors que leur densité diminue avec l'ancienneté des cacaoyères.

Quel que soit le type d'arbres, aucune différence significative de surface terrière totale n'est mise en évidence entre les zones d'étude. On observe toutefois que la surface terrière totale des peuplements associés et celle des arbres forestiers sont plus importantes dans les zones forestières de Zima et de Ngomedzap, où les espèces associées aux cacaoyers sont principalement forestières, que dans la zone de transition forêt-savane de Bokito, où il s'agit surtout d'espèces fruitières. A l'inverse, et pour les mêmes raisons, la surface terrière totale des arbres fruitiers associés aux cacaoyers est plus élevée dans la zone de Bokito que dans les zones de Zima et de Ngomedzap.

3.1.5.2. Hauteur

La hauteur moyenne des frondaisons des peuplements associés aux cacaoyers est de 12,6 m. Dans le même temps, la hauteur moyenne des arbres fruitiers est de 11,1 m et celle des arbres forestiers de 15,5 m (tableau 10).

Tableau 10 : Hauteur des peuplements associés aux cacaoyers par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Hauteur (m)		
	Tous types d'arbres	Arbres fruitiers	Arbres forestiers
< 10 ans	9,5 (± 1,28) b	8,5 (± 1,34) a	12,1 (± 1,29) a
10-20 ans	10,9 (± 1,54) ab	10,5 (± 1,99) a	16,3 (± 2,51) a
21-40 ans	14,5 (± 1,10) a	12,3 (± 1,27) a	15,4 (± 2,65) a
> 40 ans	13,7 (± 1,10) a	11,7 (± 1,20) a	16,8 (± 1,63) a
Zones d'étude			
Bokito	8,1 (± 0,76) b	7,1 (± 0,78) c	11,9 (± 1,94) b
Zima	13,9 (± 0,74) a	11,4 (± 0,88) b	15,8 (± 1,06) ab
Ngomedzap	16,0 (± 0,92) a	14,7 (± 1,20) a	19,2 (± 2,37) a
Moyenne	12,6 (± 0,65)	11,1 (± 0,70)	15,5 (± 1,09)
CV (%)	0,38	0,48	0,53

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

La hauteur moyenne des peuplements associés aux cacaoyers augmente significativement avec l'ancienneté des cacaoyères, ce qui met en évidence une relation physiologique liée à l'âge des peuplements. Aucune différence significative de hauteur n'est mise en évidence entre les différentes classes d'âge de cacaoyères pour la hauteur moyenne des arbres fruitiers comme pour celle des arbres forestiers.

La hauteur moyenne des peuplements associés aux cacaoyers est significativement plus élevée dans les zones de Zima et de Ngomedzap que dans la zone de Bokito. Cela est vrai pour la hauteur des arbres fruitiers comme pour celle des arbres forestiers. Ces différences régionales de hauteur peuvent s'expliquer par les variations de milieux qui caractérisent les trois zones d'étude, que nous avons déjà évoquées. Elles peuvent aussi s'expliquer, pour un même type d'espèce, par les caractéristiques morphologiques des espèces associées aux cacaoyers. Ainsi, dans le cas des espèces fruitières, certaines espèces comme le safoutier (*Dacryodes edulis*) et l'avocatier (*Persea americana*) que l'on rencontre dans les cacaoyères de Zima et de Ngomedzap (chapitre 3), se caractérisent par un développement plus important que d'autres, telles que l'oranger (*Citrus sinensis*), espèce plus fréquente dans les cacaoyères de Bokito.

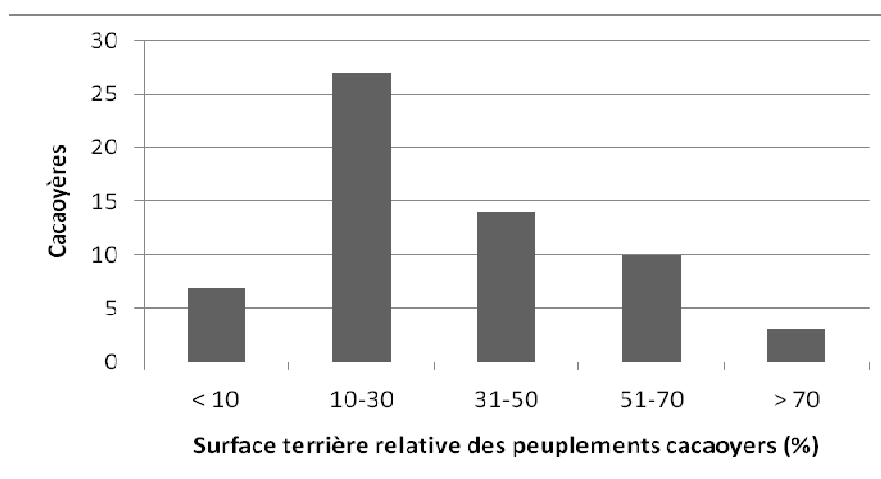
3.1.5.3. Densité relative des différents peuplements

En termes de densité relative, les cacaoyers représentent entre 85 % et 90 % des individus inventoriés dans les cacaoyères agroforestières du Centre Cameroun, quelle que soit la classe d'âge des cacaoyères ou la zone considérée.

3.1.5.4. Surface terrière relative des différents peuplements

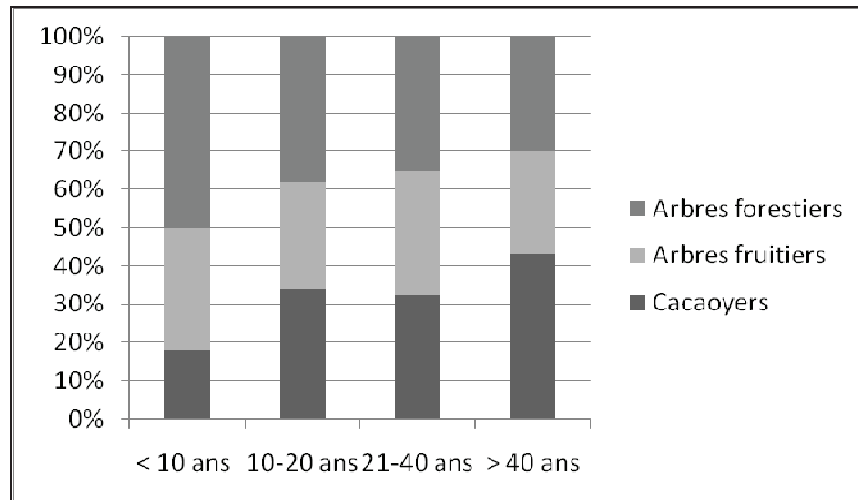
Globalement, la surface terrière relative des peuplements cacaoyers est en moyenne de 33,1 %. La répartition des cacaoyères par classe de surface terrière relative des peuplements cacaoyers montre une forte variabilité entre parcelles (figure 14). Une grande partie des peuplements cacaoyers représentent en effet moins de 30 % de la surface terrière totale occupée par l'ensemble des peuplements, mais dans certains cas, on observe que les peuplements cacaoyers occupent plus de 50 % de celle-ci.

Figure 14 : Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de surface terrière relative du peuplement cacaoyer.



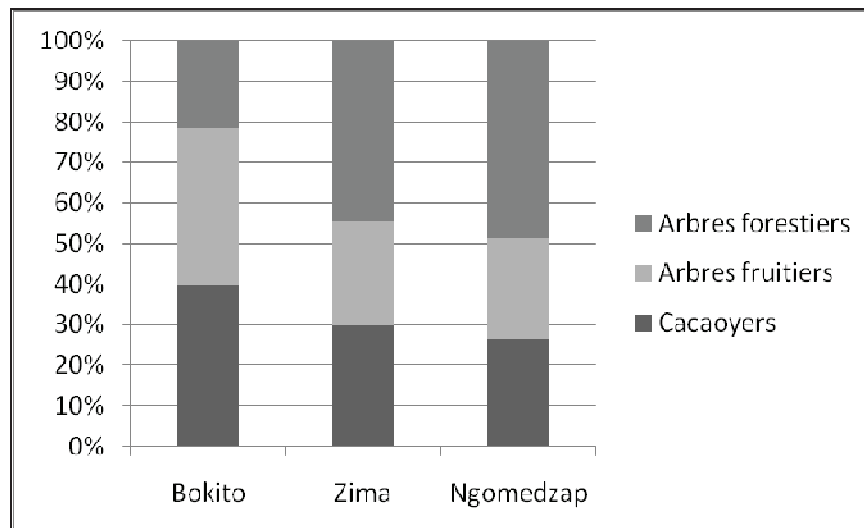
La surface terrière relative des peuplements cacaoyers augmente significativement avec l'ancienneté des cacaoyères et passe de 16 % dans les cacaoyères de moins de 10 ans à 43 % dans celles de plus de 40 ans (figure 15). Dans le même temps, la surface terrière relative des arbres forestiers passe de 50 % dans les cacaoyères de moins de 10 ans à 30 % dans celles de plus de 40 ans, sans différence significative entre les classes d'âge des cacaoyères. Aucune différence significative n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères pour la surface terrière relative des arbres fruitiers. Au cours du temps, les modalités de gestion des peuplements associés par les agriculteurs, qui se traduisent principalement par une diminution des arbres associés aux cacaoyers pour compenser leur développement végétatif, et les modalités de gestion des peuplements cacaoyers, où les cacaoyers sénescents font l'objet d'une régénération, aboutissent ainsi à des évolutions de surface terrière relative différentes selon les peuplements, à l'avantage des peuplements cacaoyers.

Figure 15 : Surface terrière relative par type de peuplement et par classe d'âge.



La surface terrière relative des peuplements cacaoyers est en moyenne de 40 % dans la zone de Bokito et de 26 % dans la zone de Ngomedzap bien qu'aucune différence significative ne soit mise en évidence pour cette variable entre les zones d'étude. Dans le même temps, la surface terrière relative des arbres forestiers est significativement plus importante dans les zones de Ngomedzap et de Zima que dans la zone de Bokito. Inversement, la surface terrière relative des arbres fruitiers est significativement plus élevée dans la zone de Bokito que dans les zones de Ngomedzap et de Zima (figure 16).

Figure 16 : Surface terrière relative par type de peuplement et par zone d'étude.

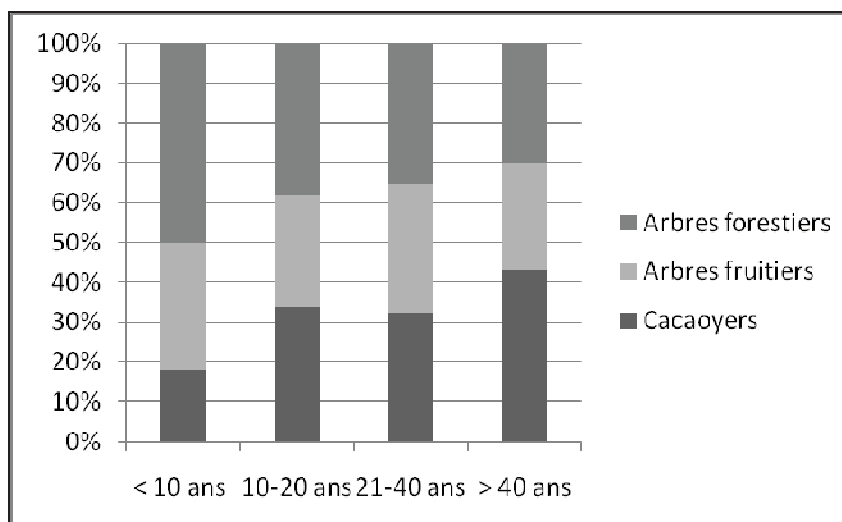


La zone de transition forêt-savane de Bokito se distingue ainsi des autres zones d'étude : les peuplements cacaoyers y occupent la surface terrière relative la plus élevée et les arbres fruitiers y occupent une surface terrière relative plus importante que les arbres forestiers. Ces différences régionales pourraient constituer, à l'instar des différences observées dans la structure des cacaoyères, un des facteurs à l'origine des variations de rendement potentiel en cacao marchand.

3.1.5.5. Biomasse relative des troncs des différents peuplements

Aucune différence significative n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères en ce qui concerne la biomasse relative des troncs des peuplements cacaoyers, qui augmente cependant avec l'ancienneté des cacaoyères (figure 17).

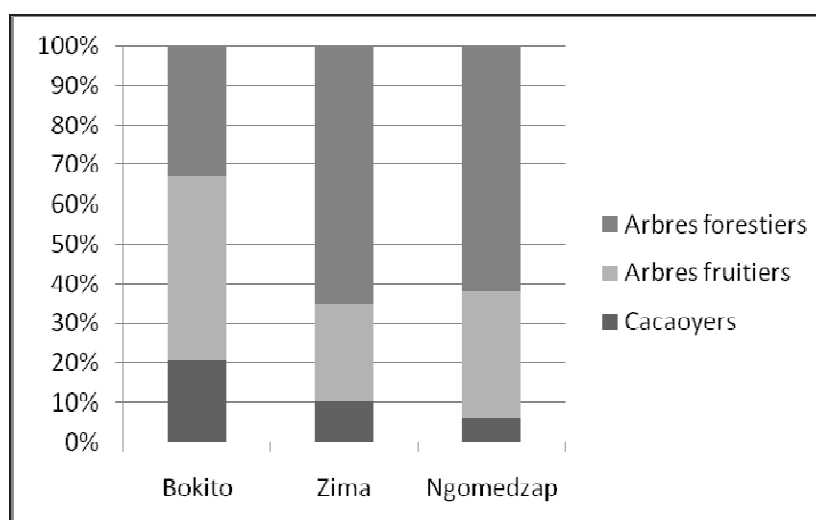
Figure 17 : Biomasse relative par type de peuplement et par classe d'âge.



Aucune différence significative n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères pour la biomasse relative des troncs des arbres forestiers et celle des arbres fruitiers. On observe cependant une diminution de ces deux variables avec l'ancienneté des cacaoyères, en lien avec les modalités de gestion des peuplements associés évoquées précédemment.

La biomasse relative des troncs des peuplements cacaoyers est significativement plus élevée dans la zone de Bokito (21 %) que dans les zones de Zima et de Ngomedzap (10 % et 6 % respectivement) (figure 18).

Figure 18 : Biomasse relative par type de peuplement et par zone d'étude.



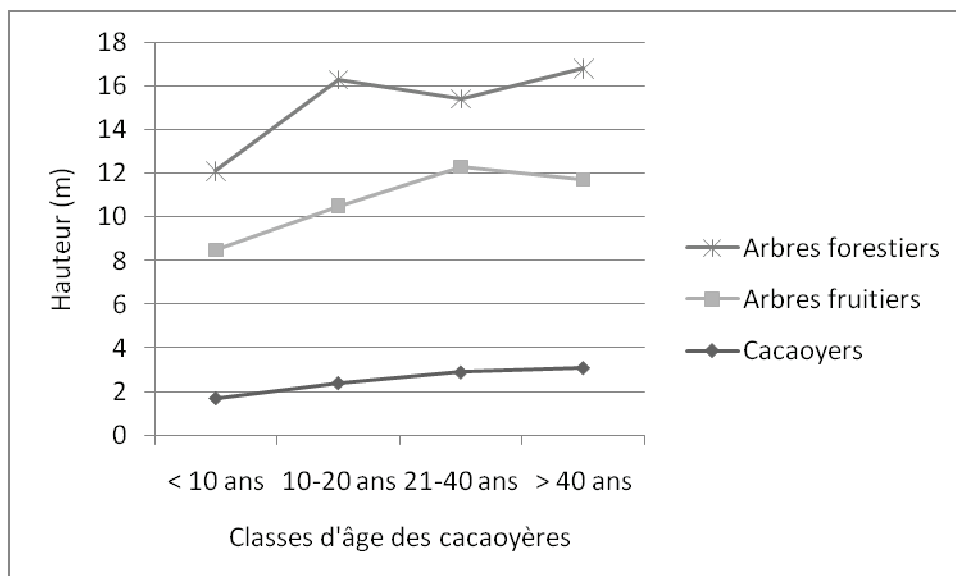
Dans le même temps, la biomasse relative des troncs des arbres forestiers est significativement plus élevée dans les cacaoyères des zones de Zima et de Ngomedzap (65 % et 60 % respectivement) que dans les cacaoyères de la zone de Bokito (33 %). La biomasse relative des troncs des arbres fruitiers est plus importante à Bokito qu'à Zima et Ngomedzap mais pour cette variable aucune différence significative n'est mise en évidence entre les zones d'étude.

Ces observations confirment, voire accentuent, les caractéristiques des différents peuplements mises en évidence pour la surface terrière relative. Elles mettent en exergue la place importante qu'occupent les peuplements associés, et en particulier les arbres forestiers, dans les systèmes des zones forestières de Zima et de Ngomedzap. Au contraire, les systèmes de la zone de transition forêt-savane de Bokito sont dominés par les arbres fruitiers et les peuplements cacaoyers y occupent une plus grande place.

3.1.8.6. Hauteur des différents peuplements

Aucune différence significative de hauteur n'est mise en évidence entre les différentes classes d'âge des cacaoyères, quel que soit le type d'arbres considérés. Dès leur création, les cacaoyères agroforestières comportent trois strates bien différenciées (figure 19). Les modalités de mise en place des cacaoyères adoptées par les agriculteurs, déjà évoquées, expliquent en grande partie la présence d'arbres dans les jeunes cacaoyères. Dans les zones forestières de Zima et de Ngomedzap, il s'agit la plupart du temps d'arbres conservés lors de la défriche forestière (arbres forestiers mais également fruitiers indigènes). Il en est de même pour les cacaoyères installées dans les galeries forestières dans le cas de la zone de transition forêt-savane.

Figure 19 : Evolution de la hauteur moyenne du peuplement cacaoyer et des peuplements associés par classe d'âge des cacaoyères.



3.1.6. Pression parasitaire liée aux mirides

La moyenne des notes attribuée aux cacaoyers pour évaluer la pression parasitaire liée aux mirides est de 1,06 en ce qui concerne la présence de poussées foliaires, de 1,78 pour la présence de feuilles sèches, 1,42 pour la présence de branches dénudées et 1,99 pour la présence de chancres (tableau 11).

Tableau 11 : Notation moyenne par type de dégâts liés aux mirides par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Présence de poussées foliaires	Présence de feuilles sèches	Présence de branches dénudées	Présence de chancres
< 10 ans	0,93 (\pm 0,22) a	1,31 (\pm 0,14) b	0,87 (\pm 0,15) b	1,34 (\pm 0,18) b
10-20 ans	1,00 (\pm 0,19) a	1,68 (\pm 0,23) ab	1,26 (\pm 0,18) ab	1,76 (\pm 0,20) ab
21-40 ans	1,08 (\pm 0,13) a	1,79 (\pm 0,16) ab	1,42 (\pm 0,14) ab	2,18 (\pm 0,13) a
> 40 ans	1,15 (\pm 0,10) a	2,05 (\pm 0,14) a	1,74 (\pm 0,13) a	2,24 (\pm 0,12) a
Zones d'étude				
Bokito	1,19 (\pm 0,08) a	2,02 (\pm 0,20) a	1,89 (\pm 0,15) a	2,18 (\pm 0,15) a
Zima	1,03 (\pm 0,16) a	1,69 (\pm 0,11) a	1,05 (\pm 0,10) b	1,66 (\pm 0,09) a
Ngomedzap	0,97 (\pm 0,12) a	1,64 (\pm 0,12) a	1,27 (\pm 0,10) b	2,09 (\pm 0,16) a
Moyenne	1,06 (\pm 0,07)	1,78 (\pm 0,09)	1,42 (\pm 0,08)	1,99 (\pm 0,08)
CV	0,53	0,39	0,45	0,33

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Hormis pour la présence de poussées foliaires, des différences significatives de notation sont mises en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères. On constate que les dégâts liés aux mirides augmentent significativement avec l'ancienneté des cacaoyères, et s'accumulent au cours du temps sur les diverses parties de la couronne des cacaoyers. Une différence significative de notation est mise en évidence entre la zone de Bokito et les zones de Zima et de Ngomedzap pour la présence de branches dénudées. Globalement, bien qu'aucune différence significative ne soit mise en évidence entre les zones d'étude, on constate que les dégâts liés aux mirides sont plus importants dans la zone de transition forêt-savane de Bokito que dans les zones forestières de Zima et de Ngomedzap. Dans la zone de Bokito, l'ombrage plus léger des cacaoyères agroforestières, où dominent les espèces fruitières, favoriserait les pullulations de mirides qui seraient au contraire limitées dans les zones de Zima et de Ngomedzap où l'ombrage des cacaoyères est plus dense en raison de la présence en plus grand nombre d'espèces forestières (Babin, 2009).

3.1.7. Caractéristiques des sols sous cacaoyers

Le taux de matière organique des sols sous cacaoyers est en moyenne de 3,1 % pour un pH moyen de 5,5 (tableau 12).

Il n'y a pas de différence significative de taux de matière organique entre les différentes classes d'âge des cacaoyères. Cette variable tend cependant à augmenter avec l'ancienneté des cacaoyères, confirmant ce qui a été observé dans la zone de transition forêt-savane de Bokito (chapitre 2).

Il n'y a également pas de différence significative de pH entre les différentes classes d'âge des cacaoyères. Par contre, le taux de matière organique des cacaoyères de Ngomedzap est significativement supérieur à celui des cacaoyères de Zima et de Bokito. Une différence significative de pH du sol est mise en évidence entre les zones d'étude (tableau 12).

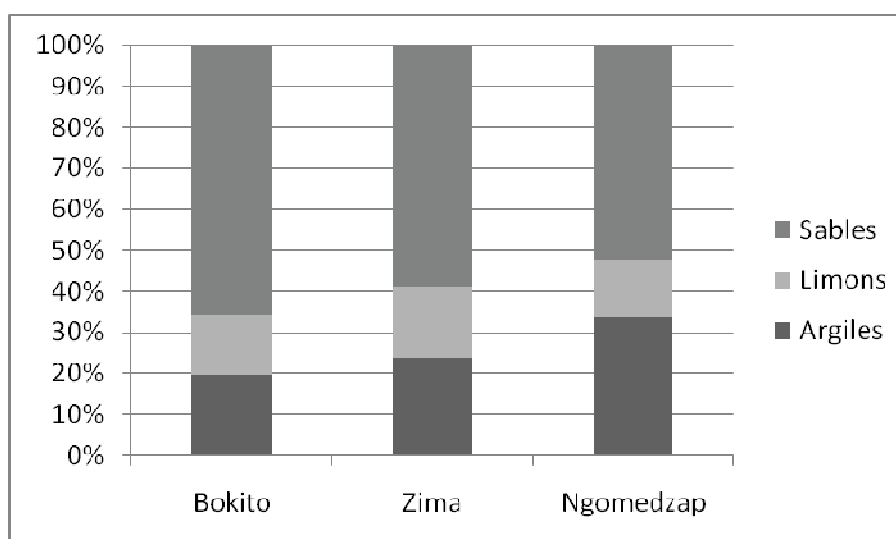
Tableau 12 : Teneur en matière organique et pH des sols sous cacaoyers par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Matière organique (%)	pH eau
< 10 ans	3 (\pm 0,46) a	5,4 (\pm 0,21) a
10-20 ans	3,4 (\pm 0,39) a	5,6 (\pm 0,24) a
21-40 ans	3,4 (\pm 0,30) a	5,3 (\pm 0,22) a
> 40 ans	3,8 (\pm 0,16) a	5,7 (\pm 0,15) a
Zones d'étude		
Bokito	2,5 (\pm 0,21) b	6,2 (\pm 0,09) a
Zima	2,7 (\pm 0,18) b	5,5 (\pm 0,14) b
Ngomedzap	4,2 (\pm 0,20) a	4,8 (\pm 0,10) c
Moyenne	3,1 (\pm 0,14)	5,5 (\pm 0,10)
CV	0,36	0,14

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Les sols sous cacaoyers sont caractérisés par un taux moyen d'argiles de 25 %, de limons de 15 % et de sables de 58 %, sans différence significative entre les classes d'âge de cacaoyères. Le taux d'argiles est significativement plus élevé dans la zone forestière de Ngomedzap (33 %) que dans la zone de transition forêt-savane de Bokito (19 %). Dans le même temps, le taux de sable est significativement plus élevé dans la zone de Bokito (65 %) que dans la zone de Ngomedzap (51 %) (figure 20). Ces observations sont à relier au gradient pédo-climatique qui caractérise le Centre-Sud du Cameroun (Santoir et Bodpa, 1995).

Figure 20 : Evolution de la texture des sols sous cacaoyers par zone d'étude.



3.1.8. Niveau d'agrobiodiversité

L'indice de Shannon-Weaver des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est en moyenne de 1,91 pour un indice moyen de richesse spécifique de 2,21 (tableau 13). Pour ces deux indices, aucune différence significative n'est mise en évidence entre les classes d'âge des cacaoyères bien que leurs valeurs diminuent avec l'ancienneté des cacaoyères. La diminution de l'indice de Shannon-Weaver avec l'ancienneté va à l'encontre de ce que nous avons observé précédemment (chapitres 1 et 2) où nous avons mis en évidence au contraire une augmentation de la valeur de cet indice au cours du temps. Cette différence pourrait trouver son origine dans le dispositif en placette sur lequel repose notre évaluation du peuplement cacaoyer.

L'indice de Shannon-Weaver est significativement plus élevé dans les zones forestières de Zima et de Ngomedzap que dans la zone de transition forêt-savane de Bokito (tableau 13). Ce résultat confirme ce que nous avons observé dans le chapitre 1 : le niveau d'agrobiodiversité des cacaoyères de la zone de Bokito est moins élevé que celui des cacaoyères des zones forestières. L'indice de richesse spécifique est significativement plus élevé dans la zone de Bokito que dans les zones de Zima et Ngomedzap. Ces résultats sont à relier aux différences qui existent entre la zone de transition forêt-savane de Bokito et les zones forestières de Zima et de Ngomedzap en termes de structure des peuplements associés, déjà évoquées.

Tableau 13 : Agrobiodiversité des cacaoyères agroforestières par classe d'âge et par zone d'étude.

Classes d'âge des cacaoyères	Indice de Shannon-Weaver	Indice de richesse spécifique
< 10 ans	2,22 (\pm 0,09) a	2,53 (\pm 0,52) a
10-20 ans	1,91 (\pm 0,11) a	2,48 (\pm 0,33) a
21-40 ans	1,85 (\pm 0,17) a	2,34 (\pm 0,32) a
> 40 ans	1,80 (\pm 0,08) a	1,78 (\pm 0,15) a
Zones d'étude		
Bokito	1,59 (\pm 0,08) b	2,83 (\pm 0,32) a
Zima	1,99 (\pm 0,10) a	1,94 (\pm 0,24) ab
Ngomedzap	2,15 (\pm 0,11) a	1,83 (\pm 0,18) b
Moyenne	1,91 (\pm 0,06)	2,21 (\pm 0,15)
CV	0,26	0,53

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

Les premiers éléments de caractérisation des différents peuplements qui constituent les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer mettent en évidence des différences marquées entre les trois zones d'étude. En termes de densité relative, le cacaoyer apparaît partout comme l'espèce pivot de ces systèmes, mais ce n'est plus le cas en termes de surface terrière relative et de biomasse relative des troncs. Les systèmes de la zone de transition forêt-savane de Bokito se distinguent toutefois de ceux des zones forestières de Zima et de Ngomedzap. Les peuplements cacaoyers y présentent une surface terrière relative et une biomasse relative plus importante qu'ailleurs. Ces systèmes sont également dominés par les arbres fruitiers qui y présentent une surface terrière relative et une biomasse relative plus importantes que dans les systèmes des zones forestières.

3.2. Diagnostic du rendement des cacaoyères

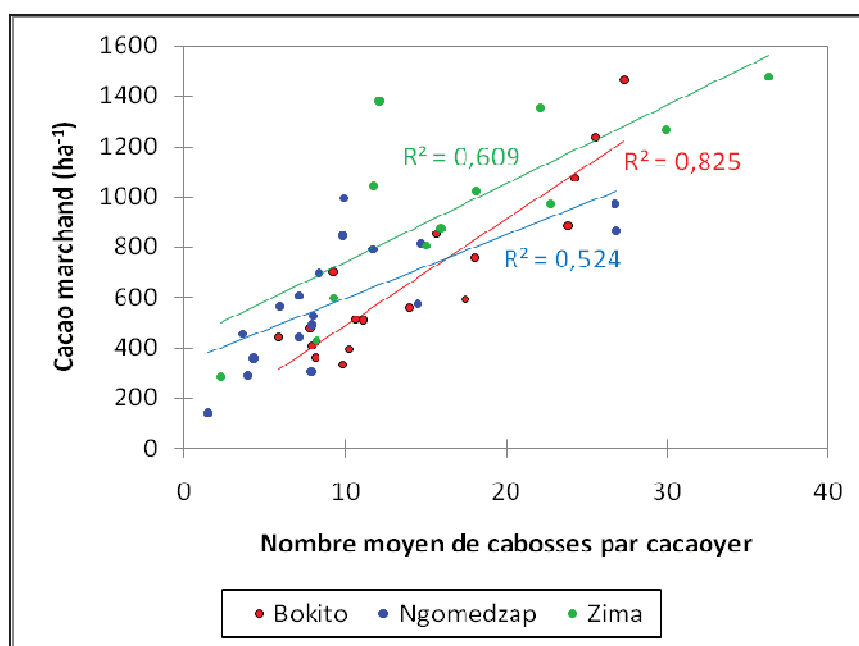
Les causes de variation des rendements en cacao marchand observées entre les parcelles âgées de plus de dix ans¹¹ seront analysées en précisant tout d'abord la contribution de chaque composante, à savoir : le nombre moyen de cabosses par cacaoyer et la densité de cacaoyers. Puis, nous chercherons à mettre en évidence les relations entre ces composantes du rendement, l'état et la structure du peuplement cacaoyer, à l'origine des variations du rendement. Enfin, nous tenterons d'identifier les états du milieu ainsi que les variables d'état et de structure des peuplements associés à l'origine des variations de rendements.

3.2.1. Le rendement potentiel en cacao marchand et ses composantes

Toutes parcelles confondues, le rendement potentiel en cacao marchand est lié positivement au nombre moyen de cabosses par cacaoyer ($r = 0,816$). Par contre, le rendement potentiel en cacao marchand n'est pas corrélé à la densité des cacaoyers ($r = -0,186$).

La corrélation positive entre le rendement potentiel en cacao marchand des cacaoyères et le nombre de cabosses par cacaoyer est confirmée quelle que soit la zone d'étude (figure 21). Il en est de même pour l'absence de corrélation entre le rendement potentiel en cacao marchand des cacaoyères et la densité des cacaoyers.

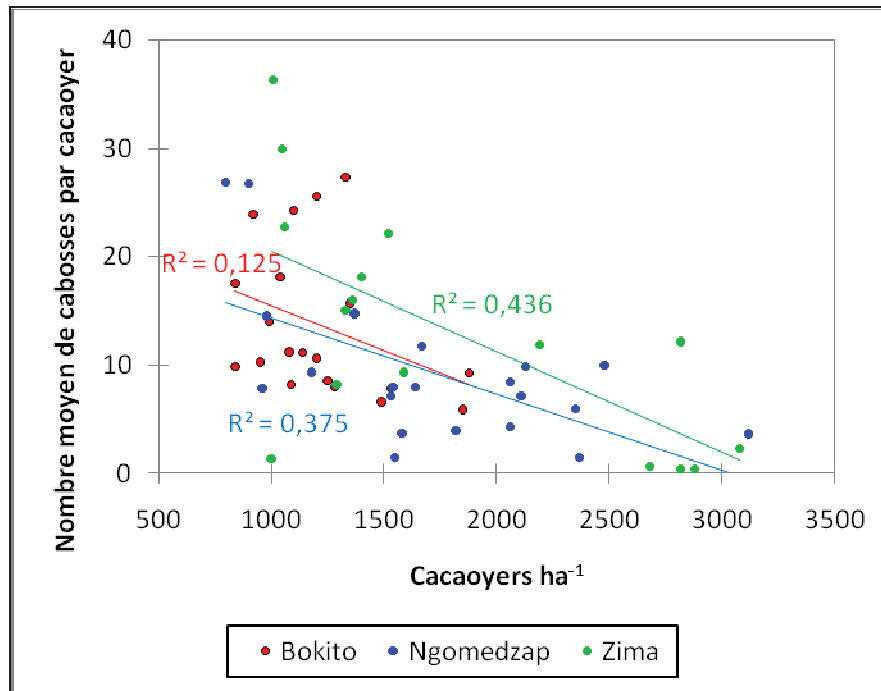
Figure 21 : Relation entre rendement potentiel et nombre moyen de cabosses par cacaoyer.



Toutes parcelles confondues, le nombre moyen de cabosses par cacaoyer diminue significativement avec la densité des cacaoyers ($r = 0,572$). Cette corrélation négative entre les deux composantes du rendement est confirmée dans les zones de Zima et de Ngomedzap mais elle n'est pas significative pour Bokito (figure 22).

¹¹ Soit un effectif de 51 parcelles

Figure 22 : Relation entre nombre moyen de cabosses par cacaoyer et densité des cacaoyers.



A Zima et Ngomedzap, la corrélation négative entre les deux composantes du rendement suggère que la structure des peuplements cacaoyers intervient sur les caractéristiques morphologiques des cacaoyers et donc indirectement sur leur productivité. Dans le même temps, on sait qu'il existe une relation entre la productivité des cacaoyers et leur vigueur (Glendinning, 1960 ; 1966 ; Lachenaud et Mossu, 1985), ce qui tendrait à démontrer que la densité des cacaoyers intervient en particulier sur leur surface terrière.

A Bokito, l'absence de corrélation négative entre le nombre moyen de cabosses par cacaoyer et la densité des cacaoyers peut s'expliquer par la moindre variabilité qui caractérise ces deux variables. Le nombre de cabosses minimal par cacaoyer y est en effet 5,9 pour un nombre de cabosses maximal de 27,3, soit un rapport de 1 à 5 alors qu'il est de 1 à 18 à Ngomedzap et de 1 à 145 à Zima. Il en est de même pour la densité des cacaoyers : elle passe de 840 cacaoyers ha⁻¹ (densité minimale) à 1 888 cacaoyers ha⁻¹ (densité maximale), soit un rapport de 1 à 2,2 alors que ce rapport est de 1 à 3,9 à Ngomedzap et de 1 à 4,4 à Zima. De plus, la densité des cacaoyers à Zima et Ngomedzap est d'environ 1 700 cacaoyers ha⁻¹ pour environ 1 200 cacaoyers ha⁻¹ à Bokito (tableau 2).

3.2.2. Relations entre rendement, composantes du rendement, état et structure du peuplement cacaoyer

3.2.2.1. Toutes zones confondues

L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec le rendement potentiel en cacao marchand, les deux composantes du rendement (nombre moyen de cabosses par cacaoyer et densité des cacaoyers), les principales variables d'état et de structure du peuplement cacaoyer (tableau 14). Les axes 1 et 2 de l'ACP regroupent 69,7 % de l'information.

Tableau 14 : Liste des principales variables retenues pour le peuplement cacaoyer.

Type de variables	Abréviation
Variables à expliquer	
Rendement potentiel de cacao marchand (ha ⁻¹)	Rdtem
Nombre moyen de cabosses par cacaoyer	Nbcab
Densité des cacaoyers	Denscac
Variables d'état du peuplement cacaoyer	
Surface terrière moyenne par cacaoyer (cm ²)	Surfcac
Hauteur moyenne de la couronne (m)	Hautcac
Cacaoyers adultes improductifs (%)	%cacimpro
Variables de structure du peuplement cacaoyer	
Nombre moyen de troncs par cacaoyer	Nbtroncac
Age moyen des cacaoyers	Agecac

La matrice ci-dessous montre les corrélations entre variables ayant un coefficient de Pearson supérieur ou égal à 0,45 (tableau 15).

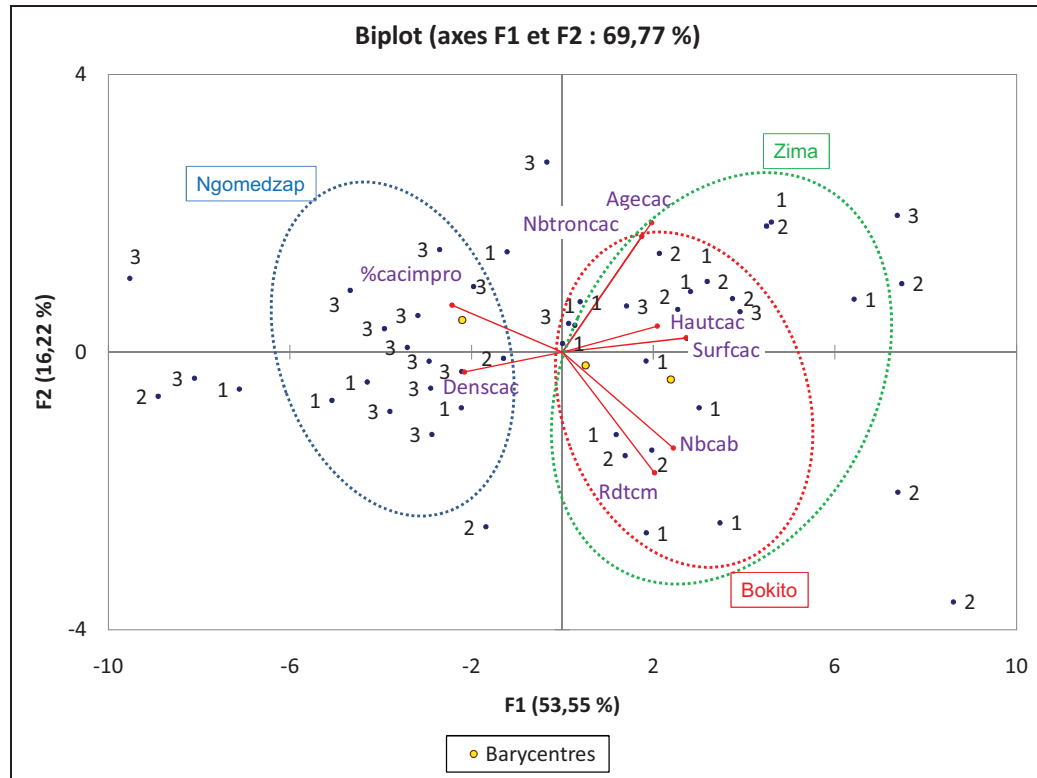
Tableau 15 : Matrice de corrélation entre rendement, composantes du rendement et variables d'état et de structure du peuplement cacaoyer*.

Variables	Rdtem	Nbcab	Denscac	Surfcac	Nbtroncac	Hautcac	Agecac	%cacimpro
Rdtem	1							
Nbcab	0,816	1						
Denscac	-0,186	-0,572	1					
Surfcac	0,494	0,682	-0,639	1				
Nbtroncac	0,238	0,244	-0,319	0,459	1			
Hautcac	0,397	0,349	-0,326	0,644	0,327	1		
Agecac	0,156	0,312	-0,441	0,595	0,623	0,462	1	
%cacimpro	-0,564	-0,617	0,606	-0,649	-0,334	-0,518	-0,306	1

* En gras : coefficient de Pearson supérieur ou égal à 0,45

L'axe 1 de l'Acp oppose des variables de vigueur moyenne (hauteur, surface terrière) et de productivité moyenne (nombre moyen de cabosses) du cacaoyer aux variables du peuplement cacaoyer (densité et taux de cacaoyers adultes improductifs) (figure 23).

Figure 23 : Analyse en composantes principales des facteurs du rendement au niveau du peuplement cacaoyer*.



* Cacaoyères : 1 = Bokito ; 2 = Zima ; 3 = Ngomedzap

En hiérarchisant les corrélations entre les différentes variables de façon décroissante, on observe que :

- le nombre moyen de cabosses par cacaoyer (Nbcab) augmente significativement avec la surface terrière moyenne par cacaoyer (Surfcac) ;
- le nombre moyen de cabosses par cacaoyer est négativement corrélé au taux de cacaoyers adultes improductifs (%cacimpro) et à la densité des cacaoyers ;
- la surface terrière moyenne par cacaoyer (Surfcac) augmente significativement avec la hauteur moyenne des cacaoyers (Hautcac), l'âge moyen des cacaoyers (Agecac) et le nombre moyen de troncs par cacaoyer (Nbtroncac) ;
- le nombre moyen de troncs par cacaoyer (Nbtroncac) augmente significativement avec l'âge moyen des cacaoyers (Agecac) ;
- la hauteur moyenne des cacaoyers (Hautcac) est positivement corrélée à l'âge moyen des cacaoyers (Agecac) ;
- la surface terrière moyenne par cacaoyer (Surfcac) diminue significativement avec la densité des cacaoyers (Denscac) ;
- le taux de cacaoyers adultes improductifs (%cacimpro) augmente significativement avec la densité des cacaoyers ;

viii) le taux de cacaoyers adultes improductifs (%cacimpro) est négativement corrélé à la surface terrière moyenne par cacaoyer (Surfcac) et à la hauteur moyenne des cacaoyers (Hautcac).

ix) le rendement (Rdtcm) est négativement corrélé au taux de cacaoyers adultes improductifs (%cacimpro).

L'ensemble de ces résultats montre que la surface terrière moyenne par cacaoyer constitue un facteur central dans notre analyse. La corrélation importante mise en évidence entre la surface terrière moyenne par cacaoyer et le nombre moyen de cabosses par cacaoyer confirme la relation forte existant entre la productivité et le niveau de développement des cacaoyers.

Un élément d'explication de la corrélation négative entre la surface terrière moyenne par cacaoyer et la densité des cacaoyers est la concurrence qui s'exerce entre les cacaoyers quand leur densité est élevée. Dans un premier temps, les densités de cacaoyers élevées sont un moyen efficace pour contrôler les adventices et assurer l'auto-ombrage des cacaoyers lors de l'établissement des cacaoyères (Mooleedhar et Lauckner, 1990). Mais ensuite, le développement des cacaoyers exacerbe les concurrences au sein des peuplements (Lachenaud et Montagnon, 2002 ; Lachenaud, 2005). Globalement, aucune relation n'est mise en évidence entre la surface terrière totale des peuplements cacaoyers et leur densité ($R^2 = 0,010$) confirmant que les hautes densités ne se traduisent par une augmentation de la surface terrière totale des peuplements cacaoyers. En situation de densité élevée, les concurrences exacerbées au sein des peuplements cacaoyers se traduisent donc par une surface terrière moyenne par cacaoyer plus faible.

En raison de la corrélation négative qui existe entre la surface terrière moyenne par cacaoyer et le taux de cacaoyers adultes improductifs, les hautes densités de cacaoyers ont par ailleurs pour conséquence une augmentation significative du taux de cacaoyers adultes improductifs, ce qui contribue à diminuer le nombre moyen de cabosses par cacaoyer.

La densité des cacaoyers, en tant que composante du rendement, a un effet contradictoire sur le rendement des cacaoyères en raison de son effet négatif sur le nombre moyen de cabosses par cacaoyer.

L'âge moyen des cacaoyers apparaît comme un autre facteur important dans notre analyse. Les relations mises en évidence entre la surface terrière moyenne par cacaoyer, la hauteur moyenne des cacaoyers et l'âge moyen des cacaoyers traduisent des relations physiologiques : la surface terrière et la hauteur des cacaoyers sont liées et augmentent significativement avec l'âge des cacaoyers. Nous constatons que la surface terrière moyenne par cacaoyer augmente également significativement avec le nombre moyen de troncs par cacaoyer, qui est lui-même lié à l'âge moyen des cacaoyers. Le nombre moyen de troncs par cacaoyer est une variable de structure qui traduit l'impact des pratiques de recépage des cacaoyers sénescents mises en œuvre par les agriculteurs dans les anciennes cacaoyères. Le nombre moyen de troncs par cacaoyer augmente ainsi significativement dans les cacaoyères de plus de 40 ans (tableau 3). Il en est de même pour le taux de cacaoyers recépés (cacaoyers de type 4) (figure 4) qui augmente également significativement avec l'ancienneté des cacaoyères (figure 11). Les pratiques de régénération des cacaoyers âgés influent donc positivement sur leur productivité.

A ce stade de notre analyse, plusieurs relations entre l'état du peuplement cacaoyer et sa structure ont été mises en évidence. Ainsi, la surface terrière moyenne par cacaoyer et la hauteur moyenne des cacaoyers sont négativement corrélées à la densité des cacaoyers, et positivement corrélées au nombre moyen de troncs par cacaoyer et à l'âge moyen des cacaoyers. Par contre, aucune relation significative n'est mise en évidence entre l'état du peuplement cacaoyer et son origine génétique.

Les premiers résultats de notre analyse confirment que la structure des peuplements cacaoyers impacte fortement le nombre moyen de cabosses par cacaoyer. La densité des cacaoyers, reflet des modalités d'implantation et de gestion des peuplements cacaoyers au cours du temps a également un impact négatif sur le nombre moyen de cabosses par cacaoyer.

3.2.2.2. A l'échelle de chaque zone

La représentation des cacaoyères dans l'ACP et le positionnement des centres de gravité des trois zones permettent de distinguer les cacaoyères de Ngomedzap de celles des zones de Zima et de Bokito (figure 23).

Les cacaoyères de Ngomedzap apparaissent principalement caractérisées par des densités de cacaoyers (Denscac) et des taux de cacaoyers adultes improductifs (%cacimpro) élevés et par des surfaces terrières moyennes par cacaoyer (Surfcac) et un nombre moyen de cabosses par cacaoyer (Nbcab) faibles. Les cacaoyères de Zima et de Bokito ont des structures proches : une surface terrière moyenne par cacaoyer (Surfcac) et un nombre moyen de cabosses par cacaoyer (Nbcab) plus élevés qu'à Ngomedzap et au contraire, une densité des cacaoyers (Denscac) et un taux de cacaoyers adultes improductifs (%cacimpro) plus faibles. Ces observations sont confirmées par les caractéristiques de l'état du peuplement cacaoyer par zone : la surface terrière moyenne par cacaoyer est plus basse à Ngomedzap qu'ailleurs : 40 cm² pour 57 cm² à Zima et 64 cm² à Bokito (tableau 7) et le taux de cacaoyers adultes improductifs y est plus élevé que dans les autres zones : 28 % pour 17 à Zima et 16 à Bokito (tableau 8).

Mais dans le même temps, on observe que la densité des cacaoyers à Ngomedzap est sensiblement la même qu'à Zima (environ 1 700 cacaoyers ha⁻¹) pour 1 200 cacaoyers ha⁻¹ à Bokito, ce qui tendrait à indiquer que cette variable de structure n'explique pas à elle seule la faiblesse de la productivité des cacaoyers dans la zone de Ngomedzap. Le taux plus élevé de cacaoyers adultes improductifs qui caractérise les cacaoyères de la zone de Ngomedzap, alors que la densité de cacaoyers y est similaire à celle des cacaoyères de Zima suggère que la structure des peuplements cacaoyers n'est pas le seul facteur à l'origine des disfonctionnements du peuplement cacaoyer dans la zone de Ngomedzap.

L'analyse des relations entre le rendement potentiel en cacao marchand, les composantes du rendement et les autres variables de caractérisation du peuplement cacaoyer nous ont permis d'identifier les principales variables de structure du peuplement cacaoyer influant sur le rendement d'un peuplement cacaoyer. Le nombre moyen de troncs par cacaoyer, l'âge moyen des cacaoyers apparaissent ainsi comme des variables clés pour expliquer les variations de production entre les parcelles d'agriculteurs. Bien qu'elle intervienne sur le rendement en tant que composante, la densité des cacaoyers a un effet contradictoire sur la productivité des cacaoyers. Certains indicateurs suggèrent cependant que d'autres facteurs, que nous allons étudier dans la partie suivante, entrent en jeu dans l'élaboration du rendement en cacao marchand des cacaoyères agroforestières du Centre Cameroun.

3.2.3. Relations entre composantes du rendement, état et structure du peuplement cacaoyer, état du milieu, état et structure des peuplements associés

3.2.3.1. Toutes zones confondues

L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec les deux composantes du rendement (nombre moyen de cabosses par cacaoyer et densité des cacaoyers), les principales variables du peuplement cacaoyer (état et structure) et les autres variables principales de l'état du milieu, de l'état et de la structure des peuplements associés (tableau 16). Les axes 1 et 2 de l'ACP regroupent 62,8 % de l'information.

Tableau 16 : Liste des variables essentielles au niveau du peuplement cacaoyer et des autres facteurs du rendement.

Type de variables	Abréviation
Variables à expliquer	
Nombre moyen de cabosses par cacaoyer	Nbcab
Densité des cacaoyers	Denscac
Variables d'état du peuplement cacaoyer	
Surface terrière moyenne par cacaoyer (cm ²)	Surfcac
Hauteur moyenne de la couronne (m)	Hautcac
Cacaoyers adultes improductifs (%)	%cacimpro
Variables d'état du milieu et des peuplements associés	
Surface terrière relative des arbres associés (cm ²)	Surfrelarb
Estimation des dégâts liés aux mirides (présence de chancres)	Mir4
Variables de structure du peuplement cacaoyer et des peuplements associés	
Age moyen des cacaoyers	Agecac
Densité des peuplements associés	Densarb
Densité des arbres forestiers	Densfor
Nombre d'espèces associées aux cacaoyers	Nbsp

La matrice ci-dessous montre les corrélations entre variables ayant un coefficient de Pearson supérieur ou égal à 0,45 ont été (tableau 17).

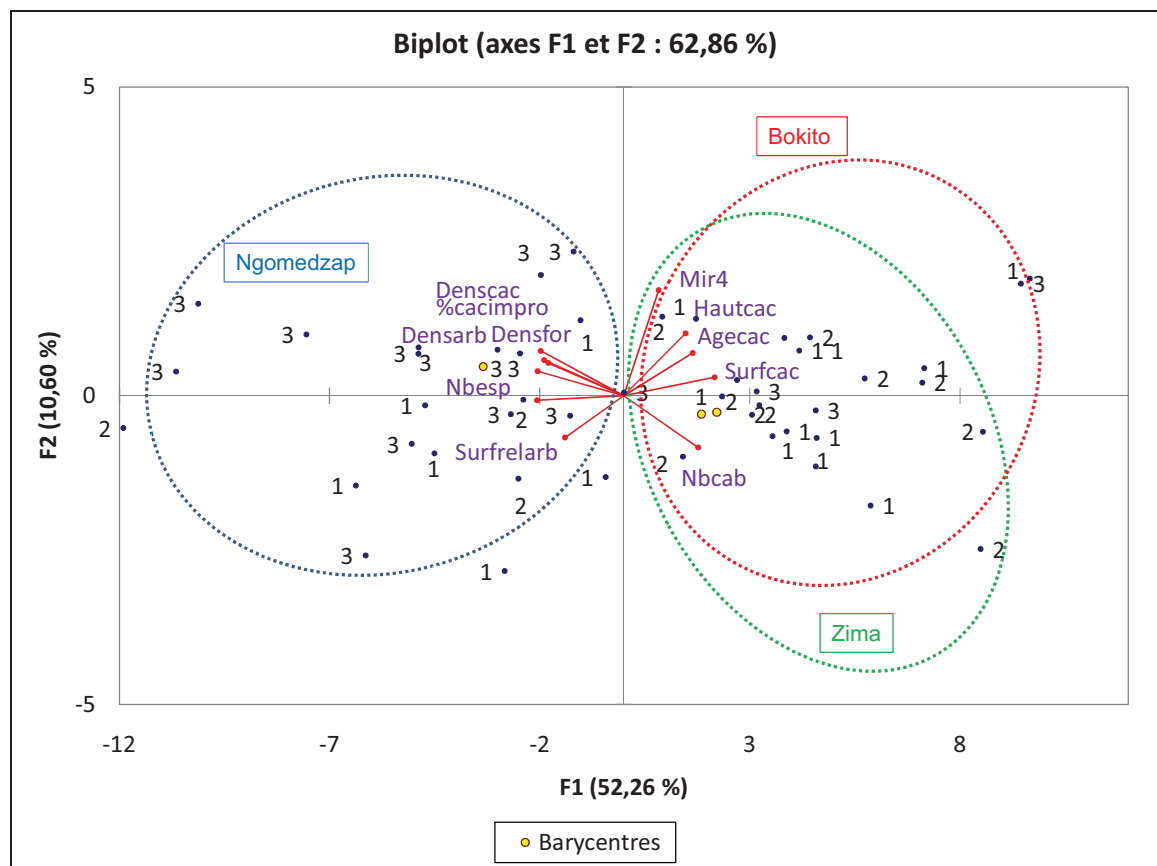
Tableau 17 : Matrice de corrélation entre composantes du rendement, facteurs du rendement au niveau du peuplement cacaoyer et autres facteurs du rendement*.

Variables	Nbcab	Denscac	Surfcac	Agecac	Hautcac	%cacimpro	<i>Densarb</i>	<i>Nbesp</i>	<i>Densfor</i>	<i>Surfrelarb</i>	<i>Mir4</i>
<i>Densarb</i>	-0,587	0,570	-0,672	-0,555	-0,542	0,596	1				
<i>Nbesp</i>	-0,521	0,551	-0,616	-0,364	-0,419	0,752	0,651	1			
<i>Densfor</i>	-0,475	0,569	-0,529	-0,274	-0,408	0,585	0,665	0,780	1		
<i>Surfrelarb</i>	-0,314	0,119	-0,583	-0,235	-0,383	0,382	0,428	0,482	0,421	1	
<i>Mir4</i>	0,045	-0,231	0,463	0,457	0,234	-0,112	-0,266	-0,269	-0,175	-0,258	1

En gras : coefficient de Pearson supérieur ou égal à 0,45 En italique surligné : autres facteurs du rendement

L'axe 1 de l'Acp oppose des variables de structure du peuplement cacaoyer (surface terrière, hauteur) influant positivement sur le rendement (nombre moyen de cabosses) aux variables d'état et de structure des peuplements associés (surface terrière relative, densité, nombre d'espèces) (figure 24).

Figure 24 : Analyse en composantes principales des facteurs du rendement au niveau du peuplement cacaoyer et des autres facteurs du rendement*.



* Cacaoyères : 1 = Bokito ; 2 = Zima ; 3 = Ngomedzap

En hiérarchisant les corrélations entre les différents facteurs du rendement de façon décroissante, on observe que :

- i) le nombre moyen de cabosses par cacaoyer (Nbcab) diminue significativement avec la densité des arbres associés (Densarb), le nombre d'espèces associées (Nbsp) et la densité des arbres forestiers (Densfor) ;
- ii) la surface terrière moyenne par cacaoyer (Surfcac) diminue significativement avec la densité des arbres associés (Densarb), le nombre d'espèces associées (Nbsp), la surface terrière relative des arbres associés (Surfrelarb) et la densité des arbres forestiers (Densfor) ;
- iii) le taux de cacaoyers adultes improductifs (%cacimpro) est positivement corrélée à la densité des arbres associés (Densarb), à la densité des arbres forestiers (Densfor) et au nombre d'espèces associées (Nbsp) ;
- iv) la hauteur moyenne des cacaoyers (Hautcac) est négativement corrélée à la densité des arbres associés (Densarb) ;
- v) la présence de chancres due aux attaques de mirides (Mir4) est positivement corrélée à la surface terrière moyenne par cacaoyer (Surfcac) et à l'âge moyen des cacaoyers (Agecac) ;
- vi) la densité des cacaoyers (Denscac) est positivement corrélée à la densité des arbres associés (Densarb), à la densité des arbres forestiers (Densfor) et au nombre d'espèces associées (Nbsp) ;
- vii) la densité des arbres associés (Densarb) diminue significativement avec l'âge moyen des cacaoyers (Agecac) ;
- viii) la densité des arbres associés (Densarb), celle des arbres forestiers (Densfor) et le nombre d'espèces associées (Nbsp) sont trois variables corrélées positivement entre elles.

La concurrence qui s'exerce au sein des systèmes agroforestiers entre le peuplement cacaoyer et les peuplements associés constitue un premier élément d'explication des corrélations négatives entre les principales variables d'état du peuplement cacaoyer et la densité des peuplements associés, en particulier la densité des arbres forestiers. Cette concurrence se traduit par une diminution de la surface terrière moyenne par cacaoyer. Compte tenu de la relation forte qui existe entre la surface terrière moyenne par cacaoyer et le nombre moyen de cabosses par cacaoyer, les densités des peuplements associés élevées se traduisent par des nombres moyens de cabosses par cacaoyer faibles. Elles se traduisent également par des taux de cacaoyers adultes improductifs importants.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Lachenaud et Mossu (1985) sur l'impact positif de la suppression de la concurrence des arbres d'ombrage et la modification du micro-climat de la cacaoyère sur l'accroissement de la productivité des cacaoyers. Ils rejoignent également les résultats obtenus par Besse (1972) qui avait comparé, en Côte d'Ivoire, deux méthodes d'établissement de cacaoyères. Cet auteur avait montré qu'à densité égale, après une défriche totale, le développement végétatif des cacaoyers est plus rapide car ils ferment leur couronne plus rapidement (après 2,5 ans), sont plus précoces et portent leurs premières cabosses à 18-20 mois. Bien que cette étude ait montré que sous forêt aménagée, la hauteur des jeunes cacaoyers est généralement plus élevée et que le rapport du diamètre de leur tronc par sa hauteur diminue, nos travaux montrent au contraire que la concurrence entre le peuplement cacaoyer et les peuplements associés se traduit également par une diminution de la hauteur moyenne des cacaoyers.

Nous avons montré précédemment que quelle que soit la classe d'âge des cacaoyères, les peuplements cacaoyers sont la composante principale des systèmes en termes de densité relative. Mais les peuplements associés occupent cependant la surface terrière relative la plus importante (figure 15), les arbres forestiers représentant la biomasse relative de troncs la plus importante (figure 17). Cela suggère que dans les systèmes agroforestiers, l'état du peuplement cacaoyer est fortement lié à la concurrence des peuplements associés pour le partage des ressources non seulement dans le milieu aérien (bilan radiatif et encombrement de l'espace) mais également dans le milieu souterrain (eau, nutriments et encombrement de l'espace).

De plus, les cacaoyers constituent la strate inférieure des systèmes agroforestiers au-dessus de laquelle se superposent la strate intermédiaire formée par les espèces fruitières et la strate supérieure constituées par les arbres forestiers (figure 19).

En fait, bien que composante principale des systèmes agroforestiers en termes de densité relative, les peuplements cacaoyers apparaissent comme un peuplement dominé par les autres espèces présentes dans le système en termes de surface terrière relative et de biomasse relative.

Par ailleurs, le fait que la densité des cacaoyers soit positivement corrélée à celles des peuplements associés et des arbres forestiers suggère que les agriculteurs adoptent des pratiques similaires en ce qui concerne les modalités de mise en place et de gestion des deux types de peuplements. La densité des peuplements associés diminue cependant significativement avec l'ancienneté des cacaoyères, passant de 307 arbres ha⁻¹ dans les jeunes cacaoyères à 138 arbres ha⁻¹ dans les cacaoyères de plus de 40 ans (tableau 4), ce qui n'est pas le cas des peuplements cacaoyers en raison des pratiques de redensification mises en œuvre par les agriculteurs (tableau 2).

La corrélation positive entre la présence de chancres et, d'une part, l'âge des cacaoyères et d'autre part, la surface terrière moyenne par cacaoyer traduit l'effet d'accumulation des dégâts liés aux mirides au cours du temps davantage qu'une pression plus forte de ces ravageurs dans les anciennes cacaoyères.

Ces différents résultats confirment que la structure des peuplements associés aux cacaoyers impacte fortement le nombre moyen de cabosses par cacaoyer. La densité des arbres associés, et en particulier la densité des arbres forestiers, reflète des modalités d'implantation et de gestion des peuplements associés au cours du temps a un impact négatif sur l'état du peuplement cacaoyer. Par contre, le sol et la pression parasitaire liée aux mirides semblent être des facteurs du rendement secondaires par rapport à la structure des peuplements associés. Ces deux variables de caractérisation du milieu n'apparaissent pas déterminantes dans l'élaboration du rendement potentiel des cacaoyères dans un système agroforestier.

3.2.3.2. A l'échelle de chaque zone

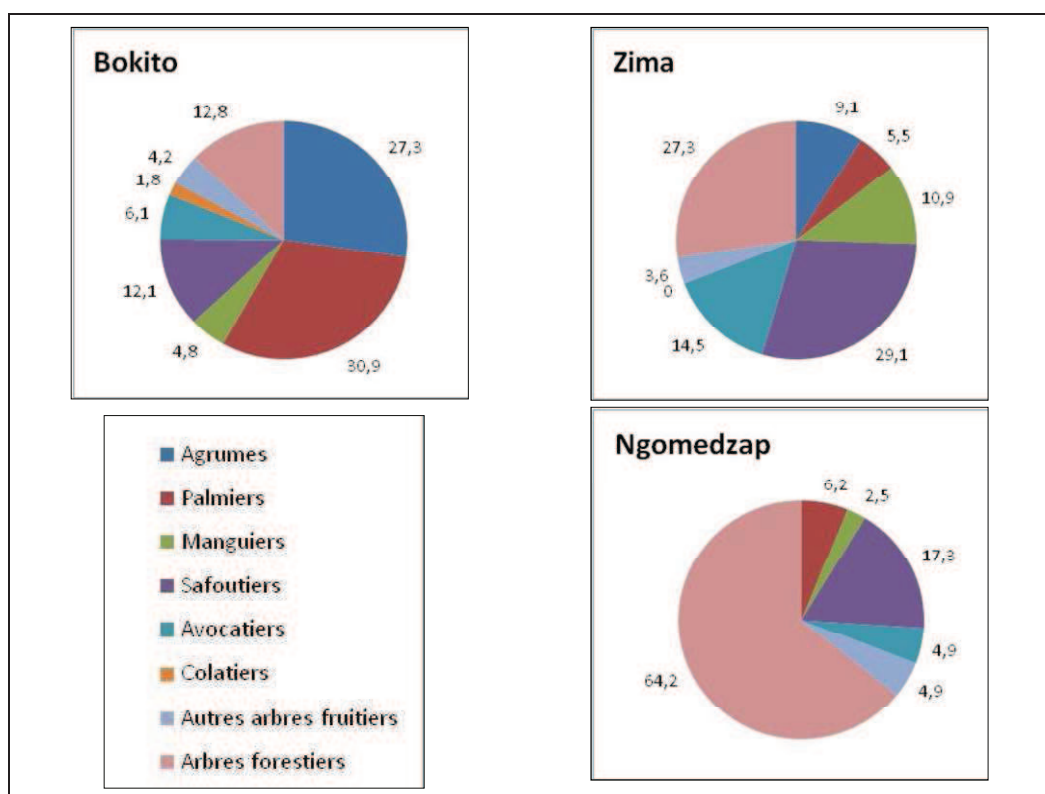
La représentation des cacaoyères dans l'ACP et le positionnement des centres de gravité des trois zones permettent de distinguer les cacaoyères de Ngomedzap de celles des zones de Zima et de Bokito (figure 24). Les cacaoyères de Ngomedzap apparaissent principalement caractérisées par des densités d'arbres associés, en particulier d'arbres forestiers, plus élevées qu'ailleurs.

La surface terrière relative qu'occupent les peuplements associés et le nombre d'espèces associées aux cacaoyers sont également plus importants dans les cacaoyères de Ngomedzap que dans celles de Zima. Ces observations sont confirmées par les caractéristiques de la structure des peuplements associés par zone. La densité des arbres forestiers associés aux cacaoyers est en effet significativement plus élevée à Ngomedzap qu'à Zima et Bokito (tableau 6). Il en est de même pour le nombre d'espèces associées aux cacaoyers (tableau 5) et pour la surface terrière relative des peuplements associés (figure 16) qui augmentent significativement lorsque l'on passe de la zone de transition forêt-savane de Bokito à la zone de Ngomedzap.

Le fait qu'aucune différence significative de densité des peuplements associés ne soit mise en évidence entre les trois zones d'étude (tableau 4), suggère que la composition floristique des peuplements associés joue un rôle déterminant dans les variations de rendement des peuplements cacaoyers. Les densités d'arbres fruitiers et d'arbres forestiers sont significativement différentes entre les zones de Bokito et de Ngomedzap. La zone de Bokito est caractérisée par une densité d'arbres fruitiers significativement supérieure à celle de la zone de Ngomedzap : 202 arbres ha⁻¹ contre 73 arbres ha⁻¹ (tableau 6). Par contre, Bokito est caractérisée par une densité d'arbres forestiers significativement inférieure à celle de Ngomedzap : 35 arbres ha⁻¹ contre 142 arbres ha⁻¹. La zone de Zima est, quant à elle, caractérisée par une densité d'arbres fruitiers similaire à celle des cacaoyères de Ngomedzap et par une densité d'arbres forestiers similaire à celle des cacaoyères de Bokito.

Les systèmes des zones de Ngomedzap et de Bokito sont ainsi caractérisés par des compositions floristiques très différentes (figure 25).

Figure 25 : Composition floristique des cacaoyères agroforestières par zone d'étude.



A Bokito, où les arbres fruitiers constituent la composante principale des peuplements associés, les agrumes et les palmiers représentent 58 % des arbres associés aux cacaoyers. D'autres espèces sont également représentées comme les manguiers, les safoutiers et les colatiers. A Ngomedzap, où les arbres forestiers représentent 65 % des arbres associés aux cacaoyers, le safoutier est l'espèce fruitière la plus représentée devant les palmiers et les avocatiers. Certaines espèces comme les agrumes et les colatiers sont absentes des cacaoyères. La composition floristique des cacaoyères de Zima présente une situation intermédiaire : les arbres forestiers ne représentent que 27 % des arbres associés aux cacaoyers et les espèces fruitières les mieux représentées sont les manguiers, les safoutiers et les avocatiers.

Pour des densités de peuplements associés similaires, les différences de composition floristique des peuplements associés se traduisent par une diminution de la surface relative des peuplements cacaoyers lorsque l'on passe de Bokito à Ngomedzap (figure 16) et surtout par une diminution significative de la biomasse relative de leurs troncs (figure 18).

Ces résultats confirment que les performances des peuplements cacaoyers en termes de rendement potentiel en cacao marchand sont donc en grande partie liées au type d'espèces que les agriculteurs associent aux cacaoyers.

L'analyse des relations entre les composantes du rendement potentiel en cacao marchand, la structure du peuplement cacaoyer et la structure des peuplements associés nous ont permis d'identifier les principales variables qui interviennent sur le fonctionnement d'un peuplement cacaoyer au sein d'un système agroforestier complexe. La densité des arbres associés, leur type et le nombre d'espèces associées aux cacaoyers apparaissent comme des variables clés pour expliquer les variations de production entre les cacaoyères d'agriculteurs.

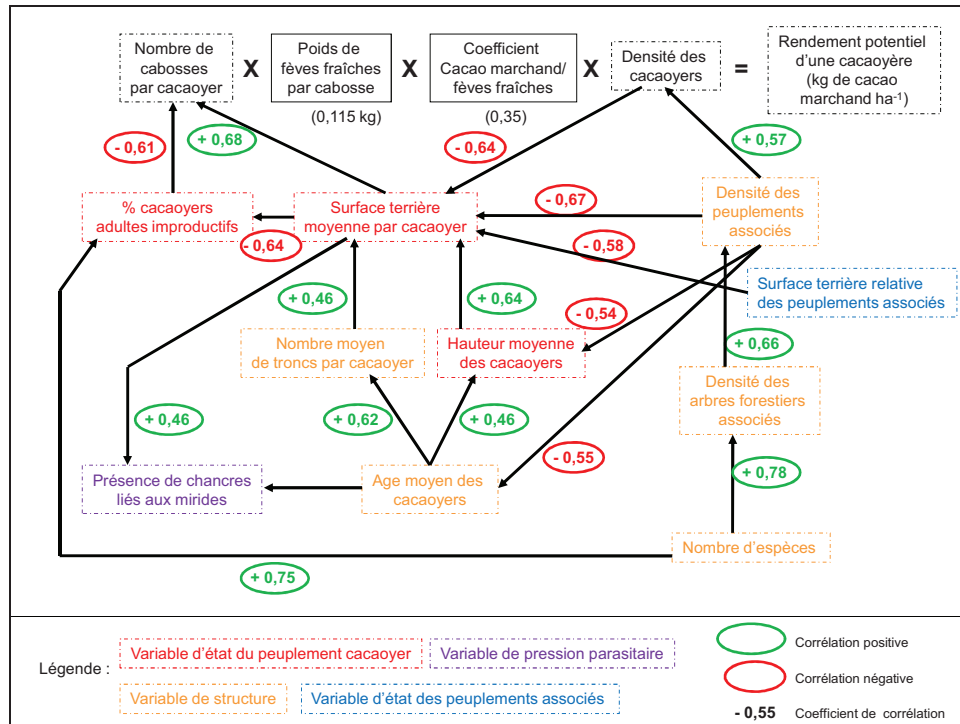
3.2.4. Synthèse : un schéma d'élaboration du rendement revisité

L'analyse des relations entre le rendement, les composantes du rendement (nombre moyen de cabosses par cacaoyer et densité des cacaoyers), les variables de structure du peuplement cacaoyer et les variables de structure des peuplements associés permet de préciser le schéma d'élaboration du rendement d'un peuplement cacaoyer au sein d'un système agroforestier (figure 26).

Le nombre de cabosses par cacaoyer est la première composante du rendement. Elle est significativement liée aux deux variables d'état du peuplement cacaoyer que sont la surface terrière moyenne par cacaoyer (variable de vigueur) et le taux de cacaoyers adultes improductifs (variable de peuplement). La densité des cacaoyers est, quant à elle, significativement liée à la densité des peuplements associés, mais elle ne joue pas directement sur le rendement en raison de son effet négatif sur le nombre moyen de cabosses par cacaoyer. Les variables du peuplement cacaoyer (surface terrière moyenne par cacaoyer, hauteur moyenne des cacaoyers, taux de cacaoyers adultes improductifs, âge moyen des cacaoyers, nombre moyen de troncs par cacaoyer et densité des cacaoyers) sont significativement liées entre elles, reliant entre elles les variables de vigueur du cacaoyer et les opposant aux variables de peuplement.

Elles apparaissent également significativement liées aux variables de structure des peuplements associés que sont la densité des peuplements associés, le nombre et le type d'espèces associées aux cacaoyers.

Figure 26 : Principales relations entre les composantes du rendement et les facteurs du rendement en cacao marchand dans un système agroforestier à base de cacaoyer.



Ce schéma d'élaboration du rendement d'un peuplement cacaoyer au sein d'un système agroforestier complexe permet d'identifier les pratiques à l'origine des variations de rendement potentiel en cacao marchand dans les cacaoyères agroforestières du Centre Cameroun. On distinguera deux types de pratiques : d'une part, les pratiques d'implantation du système et d'autre part, les pratiques de régénération des différents peuplements.

Les modalités de mise en place des peuplements cacaoyers et des peuplements associés vont se traduire par des cacaoyères dont la structure initiale sera caractérisée par une forte variabilité en termes de densité. Cette variabilité s'observe entre les zones forestières de Zima et de Ngomedzap, où la densité des peuplements cacaoyers est globalement élevée, et la zone de transition forêt-savane de Bokito où l'on observe une densité des cacaoyers plus basse qu'ailleurs. La variabilité dans les modalités de mise en place des cacaoyères apparaît également dans la structure des peuplements associés et en particulier leur composition floristique. Notre analyse du processus d'installation des cacaoyères installées dans la zone de transition forêt-savane de Bokito (chapitre 2) montre ainsi le rôle des espèces fruitières dans la création des cacaoyères sur savane. Ces résultats permettent de mieux comprendre les différences de composition floristique observées entre cette zone et les zones forestières de Zima et de Ngomedzap où les cacaoyères sont généralement installées après une défriche forestière (Duguma et al., 2001).

Au cours du temps, les modalités de gestion des différents peuplements peuvent par ailleurs expliquer les variations de rendement potentiel en cacao marchand observées entre les parcelles d'agriculteurs. Dans le chapitre 1, nous avons montré que la redensification des cacaoyères est une pratique fréquente qui concerne une majorité de cacaoyères, quelle que soit la classe d'âge considérée. Cela suggère que les agriculteurs maintiennent la densité des cacaoyers y compris quand celle-ci est initialement élevée ce qui aurait pour principale conséquence d'exacerber, dans ce cas, les concurrences au sein des peuplements cacaoyers avec le temps. Dans le même temps, on observe d'une part, que les modalités de gestion des peuplements associés se traduisent par une diminution de la densité des arbres associés avec l'ancienneté des cacaoyères (tableau 6) mais d'autre part, que la densité des peuplements associés est positivement liée à celle des cacaoyers. Ces résultats confirment la grande variabilité des pratiques des agriculteurs, dont certains optent pour des densités élevées de cacaoyers et d'arbres associés sans que l'on soit en mesure de l'expliquer, alors que l'élimination des arbres associés en surnombre est généralement l'une des premières recommandations techniques faites par les services d'encadrement. Les espèces associées aux cacaoyers induisent une concurrence plus ou moins forte pour l'eau, la lumière et les éléments nutritifs, en particulier lors des saisons sèches prononcées (Lachenaud, 1983). Dès 1957, Poncin signale ainsi plusieurs espèces incompatibles : *Pentaclethra macrophylla*, *Celtis mildbraedii*, *Lannea welwitschii*, *Piptadenia africana*, *Pseudospondias microcarpa* et *Myrianthus arboreus* qui entraînent de fortes mortalités lors des sécheresses prolongées et par ailleurs une baisse du rendement du cacaoyer.

Enfin, les pratiques de régénération mises en œuvre par les agriculteurs impactent significativement la productivité des cacaoyers et présentent de ce fait un intérêt majeur. Notre analyse des principaux facteurs à l'origine de la durabilité des cacaoyères agroforestières avait mis en évidence que le recépage des cacaoyers concernait principalement les cacaoyères les plus anciennes et était le fait d'une majorité d'agriculteurs (chapitre 1). En fait, cette pratique, qui permet aux agriculteurs de renouveler l'appareil productif du cacaoyer, a pour conséquence une augmentation significative du nombre moyen de troncs par cacaoyer en raison de la conservation de plusieurs rejets orthotropes ce qui entraîne une augmentation de la surface terrière moyenne par cacaoyer et a donc pour conséquence d'augmenter la productivité des cacaoyers âgés (tableau 2). Ces résultats apportent un éclairage nouveau sur l'intérêt de la taille de régénération des cacaoyers alors qu'il existe peu de travaux sur l'incidence de la taille du cacaoyer en tant que facteur du rendement. Au Ghana, Bonaparte (1966) avait montré que la taille de cacaoyers entraîne une meilleure productivité lors de leur entrée en production mais cet effet s'était estompé après dix ans. Dans un autre essai, toujours au Ghana, Ampofo (1986) n'a pas montré de différence significative de productivité entre des cacaoyers taillés et non taillés. Par contre, en Inde, Thomas et Balasimha (1992), en comparant plusieurs types de taille et d'architecture, ont montré que les productivités des cacaoyers non taillés étaient significativement plus élevées que celles des cacaoyers ayant fait l'objet d'une taille plus ou moins sévère. Nos résultats montrent au contraire que la régénération par recépage des cacaoyers permet d'augmenter la productivité des cacaoyers et de la maintenir sur le long terme.

3.2.5. Typologie des cacaoyères : des différences régionales marquées

A partir des analyses sur l'élaboration du rendement potentiel en cacao marchand des cacaoyères agroforestières, il est alors possible de mettre en évidence des groupes homogènes de parcelles qui ont les mêmes caractéristiques en termes de rendement en cacao marchand et en termes de structure.

La Classification ascendante hiérarchique qui a été réalisée a permis de regrouper automatiquement les parcelles présentant des caractéristiques similaires à partir du critère d'homogénéité des éléments d'une classe. Trois classes homogènes sont mises en évidence : la première classe (C1) regroupe 29 parcelles, la seconde (C2) en regroupe 13 et la troisième classe (C3) en regroupe 9.

Le tableau 18 présente les caractéristiques des trois classes de parcelles obtenues.

Tableau 18 : Principales caractéristiques des classes de cacaoyères agroforestières.

Variables	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Rendement potentiel en cacao marchand (kg ha ⁻¹)	830 a	490 b	780 a
Composantes du rendement			
Densité des cacaoyers ha ⁻¹	1 100 c	1 790 b	2 530 a
Nombre moyen de cabosses par cacaoyer	19 a	7 b	8 b
Variables d'état du peuplement cacaoyer			
Surface terrière moyenne par cacaoyer (cm ²)	77 a	33 b	26 b
Hauteur moyenne des cacaoyers (m)	3 a	2,6 a	2,7 a
Cacaoyers adultes improductifs (%)	13 b	35 a	30 a
Variables de structure du peuplement cacaoyer			
Age moyen des cacaoyers (années)	33 a	25 b	13 ab
Nombre de troncs par cacaoyer	1,5 a	1,3 b	1,4 ab
Variables d'état des peuplements associés			
Surface terrière relative (%)	60 b	71 a	63 a
Variables de structure des peuplements associés			
Densité des arbres associés ha ⁻¹	134 b	266 a	226 a
Densité des arbres forestiers ha ⁻¹	37 b	144 a	112 a
Nombre d'espèces associées	7 b	13 a	11 a

Sur une même ligne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0.01$, test de Newman-Keuls).

La classe 1 est constituée de cacaoyères dont le rendement en cacao marchand est en moyenne de 830 kg ha⁻¹. Ces cacaoyères présentent un nombre moyen de cabosses par cacaoyer (19) significativement supérieur à celui des deux autres classes de cacaoyères. La densité moyenne des cacaoyers (1 100 cacaoyers ha⁻¹) y est significativement inférieure à celle des deux autres classes de cacaoyères. Ce groupe de cacaoyères est également caractérisé par un taux de cacaoyers adultes improductifs (13 %) significativement inférieur à celui des deux autres classes de cacaoyères.

Dans le même temps, la structure des peuplements associés est caractérisée par une densité des arbres associés et une densité des arbres forestiers significativement inférieures à celles des autres classes de cacaoyères. Il en est de même pour le nombre d'espèces associées aux cacaoyers.

Les classes 2 et 3 regroupent des cacaoyères qui présentent globalement des caractéristiques significativement différentes de celles des cacaoyères de la classe 1. Les cacaoyères de la classe 3 sont cependant plus jeunes que celles de la classe 2. En termes d'état du peuplement cacaoyer et de structure des peuplements associés, les cacaoyères des classes 2 et 3 présentent globalement les mêmes caractéristiques. Elles diffèrent entre elles principalement par le rendement en cacao marchand (488 kg ha⁻¹ pour la classe 2 contre 782 kg ha⁻¹ pour la classe 3) et par leur densité de cacaoyers (1 790 cacaoyers ha⁻¹ pour la classe 2 contre 2 530 cacaoyers ha⁻¹ pour la classe 3) qui sont significativement différentes. Ces résultats montreraient que les hautes densités des peuplements cacaoyers peuvent présenter à court terme un intérêt en termes de rendement en cacao marchand, y compris en cas de densités élevées des peuplements associés, notamment lorsqu'il s'agit d'arbres forestiers. Dans les jeunes cacaoyères, malgré un taux élevé de cacaoyers adultes improductifs, les hautes densités de cacaoyers compenseraient le faible nombre moyen de cabosses par cacaoyer. Mais avec le temps, les concurrences entre les cacaoyers et entre les différents peuplements se traduisent par une surface terrière moyenne par cacaoyer et un taux de cacaoyers adultes qui évoluent peu. En conséquence, la productivité par cacaoyer n'augmente pas.

La répartition des cacaoyères par classe et par zone d'étude montre que la classe 1 regroupe principalement des cacaoyères de Bokito et de Zima alors que les classes 2 et 3 sont surtout constituées de cacaoyères de Ngomedzap (tableau 19).

Tableau 19 : Répartition des cacaoyères par classe et par zone d'étude

Classes de cacaoyères	Zones d'étude		
	Bokito	Zima	Ngomedzap
Classe 1	15	10	5
Classe 2	3	1	9
Classe 3	0	3	6

4. Conclusion

Sur le plan méthodologique, les différentes adaptations que nous avons apportées au diagnostic agronomique régional ont permis de mobiliser cette méthode pour mieux comprendre l'élaboration de la production du peuplement cacaoyer dans des systèmes agroforestiers complexes. En analysant les relations entre les variables de structure (densité des peuplements associés, nombre moyen de troncs par cacaoyer, âge moyen des cacaoyers par exemple) et d'autres variables qui reflètent l'état du peuplement cacaoyer (surface terrière, hauteur, proportion de cacaoyers improductifs), nous avons pu construire un schéma d'élaboration du rendement du cacaoyer dans un système agroforestier et identifier les principales causes de variation des rendements en cacao marchand.

A notre connaissance, aucun travail de diagnostic agronomique régional sur le cacaoyer dans un système agroforestier complexe n'avait jusqu'alors été conduit. Nos résultats apportent un nouvel éclairage sur le fonctionnement d'un peuplement cacaoyer dans un système plurispécifique complexe.

Le diagnostic agronomique régional a permis de mettre en évidence les différentes interactions qui existent entre le peuplement cacaoyer et les peuplements associés. La surface terrière moyenne par cacaoyer apparaît comme un facteur important dans l'élaboration du rendement potentiel en cacao marchand et la relation entre cette variable et le nombre moyen de cabosses par cacaoyer est démontrée. Mais nous montrons que dans les systèmes agroforestiers, le rendement en cacao marchand est fortement lié d'une part, à la structure du peuplement cacaoyer et d'autre part, à celle des peuplements associés. Si certaines variables de structure, comme la densité ou le nombre d'espèces associées aux cacaoyers peuvent impacter fortement sur le rendement potentiel des cacaoyers, nous mettons cependant en évidence une relation positive entre le nombre moyen de troncs par cacaoyer et la surface terrière moyenne par cacaoyer. Cette relation apparaît déterminante pour expliquer le maintien sur le long terme du rendement potentiel des peuplements cacaoyers.

Les analyses descriptives des différentes variables ont permis de caractériser les différents peuplements et de mettre en évidence leurs évolutions en fonction des classes d'âge des cacaoyères. Une grande variabilité est observée pour la plupart des variables prises en compte. Globalement, le rendement potentiel en cacao marchand des cacaoyères adultes demeure stable au cours du temps. Cela est également vrai pour les deux composantes du rendement : le nombre moyen de cabosses par cacaoyer et la densité des cacaoyers, confirmant ce que nous avons observé dans les chapitres 1 et 2. On observe que le nombre moyen de troncs par cacaoyer augmente avec le temps. Dans le même temps, la densité des peuplements associés et le nombre d'espèces associées diminuent avec l'ancienneté des cacaoyères. Bien que les cacaoyers apparaissent comme la composante principale des systèmes agroforestiers en termes de densité relative, et que la surface terrière relative qu'ils occupent augmente avec le temps, on constate cependant que les peuplements associés demeurent les peuplements dominants en termes de surface terrière relative et de biomasse relative des troncs. Des différences régionales de structure et de performances sont également observées. Dans la zone de transition forêt-savane de Bokito, les peuplements cacaoyers apparaissent ainsi globalement moins denses que ceux des zones forestières de Zima et de Ngomedzap et sont associés à davantage d'espèces fruitières. En conséquence, en termes de surface terrière relative et de biomasse relative, ils occupent une plus grande place dans les systèmes que les peuplements cacaoyers des zones forestières.

Dans l'ensemble, nos résultats montrent la grande variabilité des pratiques des agriculteurs. Nos travaux permettent aujourd'hui de formuler un certain nombre de recommandations techniques, notamment en termes de densités de plantation, de densité et de choix des arbres à associer aux cacaoyers, en veillant toutefois à répondre aux attentes des agriculteurs pour qui les différentes espèces ont une valeur d'usage parfois élevée (chapitre 3). Ils apportent cependant peu d'informations sur les leviers dont disposent les agriculteurs pour faire évoluer leurs systèmes et augmenter ainsi leur rendement potentiel en cacao marchand.

Les pratiques des agriculteurs seront analysées sur le temps long dans le chapitre suivant afin d'identifier leurs différentes marges de manœuvre techniques.

Annexe 1 : Espèces associées aux cacaoyers dans les systèmes de culture agroforestiers du Centre Cameroun (en grisé, zone où l'espèce a été inventoriée).

Nom scientifique	Famille	Groupe*	Zones d'étude		
			Bokito	Zima	Ngomedzap
<i>Afzelia pachyloba</i>	Caesalpiniaceae	Fo			
<i>Albizia adianthifolia</i>	Mimosaceae	Fo			
<i>Albizia ferruginea</i>	Mimosaceae	Fo			
<i>Albizia glaberrima</i>	Mimosaceae	Fo			
<i>Alstonia boonei</i>	Apocynaceae	Fo			
<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	FrE			
<i>Anthocleista vogelii</i>	Loganiaceae	Fo			
<i>Berlinia confusa</i>	Caesalpiniaceae	Fo			
<i>Bombax buonopozense</i>	Bombacaceae	Fo			
<i>Bridelia micrantha</i>	Euphorbiaceae	Fo			
<i>Buchholzia coriacea</i>	Capparaceae	Fo			
<i>Canarium schweinfurthii</i>	Burseraceae	FrI			
<i>Carapa procera</i>	Meliaceae	Fo			
<i>Carpolobia alba</i>	Polygalaceae	Fo			
<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	Fo			
<i>Citrus grandis</i>	Rutaceae	FrE			
<i>Citrus limon</i>	Rutaceae	FrE			
<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	Fo			
<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	FrE			
<i>Citrus</i> sp.	Rutaceae	FrE			
<i>Cola ballayi</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Cola ficifolia</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Cola lateritia</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Cola lepidota</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Cola millenii</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Cola nitida</i>	Sterculiaceae	FrI			
<i>Cordia platythyrsa</i>	Boraginaceae	Fo			
<i>Dacryodes edulis</i>	Burseraceae	FrI			
<i>Dacryodes macrophylla</i>	Burseraceae	Fo			
<i>Discoglypremma caloneura</i>	Euphorbiaceae	Fo			
<i>Distemonanthus benthamianus</i>	Caesalpiniaceae	Fo			
<i>Elaeis guineensis</i>	Arecaceae	P			
<i>Enantia chlorantha</i>	Annonaceae	Fo			
<i>Entandrophragma angolensis</i>	Meliaceae	Fo			
<i>Entandrophragma cylindricum</i>	Meliaceae	Fo			
<i>Erythrococca</i> sp	Euphorbiaceae	Fo			
<i>Erythrophleum ivorense</i>	Caesalpiniaceae	Fo			
<i>Erythroxylum mannii</i>	Erythroxylaceae	Fo			
<i>Fagara heitzii</i>	Rubiaceae	Fo			
<i>Ficus exasperata</i>	Moraceae	Fo			
<i>Ficus mucoso</i>	Moraceae	Fo			
<i>Ficus Sur Forsk.</i>	Moraceae	Fo			
<i>Garcinia kola</i>	Clusiaceae	FrI			
<i>Garcinia lucida</i>	Clusiaceae	Fo			
<i>Guibourtia tessmannii</i>	Caesalpiniaceae	Fo			

<i>Harungana madagascariensis</i>	Clusiaceae	Fo			
<i>Hevea brasiliensis</i>	Apocynaceae	Fo			
<i>Irvingia gabonensis</i>	Irvingiaceae	FrI			
<i>Lannea welwitschii</i>	Anacardiaceae	Fo			
<i>Lovoa trichilioides</i>	Meliaceae	Fo			
<i>Macaranga hurifolia</i>	Euphorbiaceae	Fo			
<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	FrE			
<i>Mansonia altissima</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Massularia acuminata</i>	Rubiaceae	Fo			
<i>Megaphrynium macrostachyum</i>	Marantaceae	Fo			
<i>Milicia excelsa</i>	Moraceae	Fo			
<i>Morinda lucida</i>	Rubiaceae	Fo			
<i>Newbouldia laevis</i>	Bignoniaceae	Fo			
<i>Ongokea gore</i>	Olacaceae	Fo			
<i>Persea americana</i>	Lauraceae	FrE			
<i>Petersianthus macrocarpus</i>	Lecythidaceae	Fo			
<i>Phyllanthus discoideus</i>	Euphorbiaceae	Fo			
<i>Piptadeniastrum africanum</i>	Mimosaceae	Fo			
<i>Porterandia cladantha</i>	Rubiaceae	Fo			
<i>Pseudospondias microcarpa</i>	Anacardiaceae	Fo			
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	FrE			
<i>Pteleopsis hylodendron</i>	Combretaceae	Fo			
<i>Pterocarpus soyauxii</i>	Papillonaceae	Fo			
<i>Pycnanthus angolensis</i>	Myristicaceae	Fo			
<i>Raphia farinifera</i>	Arecaceae	P			
<i>Rauvolfia macrophylla</i>	Apocynaceae	Fo			
<i>Rauvolfia vomitoria</i>	Apocynaceae	Fo			
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae	FrI			
<i>Schumanniphyton magnificum</i>	Rubiaceae	Fo			
<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	Fo			
<i>Spondias cytherea</i>	Anacardiaceae	FrE			
<i>Sterculia rhinopetala</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Sterculia tragacantha</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Tectona grandis</i>	Verbenaceae	Fo			
<i>Terminalia mentali</i>	Combretaceae	Fo			
<i>Terminalia superba</i>	Combretaceae	Fo			
<i>Tetrapleura tetraptera</i>	Mimosaceae	Fo			
<i>Tetrorchidium didymostemon</i>	Euphorbiaceae	Fo			
<i>Tieghemella africana</i>	Sapotaceae	Fo			
<i>Trichoscypha acuminata</i>	Anacardiaceae	Fo			
<i>Trilepisium madagascariensis</i>	Moraceae	Fo			
<i>Triplochiton scleroxylon</i>	Sterculiaceae	Fo			
<i>Vitex grandifolia</i>	Verbenaceae	Fo			
<i>Voacanga africana</i>	Apocynaceae	FrI			
<i>Xylopia aurantiodora</i>	Annonaceae	Fo			

Groupe* : Fo = espèce forestière ; FrE = espèce fruitière exotique ; FrI = espèce fruitière indigène ; P = palmiers

Chapitre 5

Chapitre 5 : La structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est-elle flexible ?

Ce travail répond à notre cinquième question de recherche. Il vise à vérifier la flexibilité des cacaoyères agroforestières. Cette flexibilité peut se traduire par des trajectoires d'états structuraux liés à des modifications de conduite technique au cours du temps qui vont au-delà de l'adaptation des systèmes à l'évolution écologique des espèces pérennes en association. Nous montrons que ces variations peuvent correspondre aux changements d'objectifs de l'agriculteur au cours de sa vie, au transfert des cacaoyères d'une génération à l'autre, ou aux adaptations à des changements de contexte.

Ce travail est présenté sous la forme d'un chapitre et fera l'objet, après la thèse, d'un article que nous proposerons à la revue *Ecology and Society*.

1. Introduction

La cacaoculture du Centre Cameroun repose sur des systèmes agroforestiers plurifonctionnels (chapitre 3), qui font remarquablement preuve de longévité (chapitre 1). La réalisation d'un diagnostic agronomique régional dans un réseau de parcelles d'agriculteurs a permis d'identifier les facteurs à l'origine des variations de rendement en cacao marchand, et suggère que des marges d'amélioration techniques sont possibles. Or il s'avère que le rendement potentiel en cacao marchand est fortement lié à la structure de ces systèmes et donc aux pratiques qui impactent cette structure (chapitre 4). Dès lors, des recommandations techniques peuvent être formulées en ce qui concerne les modalités de mise en place de nouvelles cacaoyères agroforestières et les modalités de gestion au cours du temps des différents peuplements, cacaoyers et associés. Dans le cadre des cacaoyères existantes qui, comme le soulignait déjà Grimaldi (1979) « *représentent actuellement et encore pour de nombreuses années le capital de production cacaoyère essentiel du Cameroun, et le revenu principal des exploitants qui les possèdent* », la formulation de recommandations techniques aux agriculteurs implique d'étudier les possibilités de restructurer ces cacaoyères sans les replanter totalement. Pour ce faire, il est nécessaire d'évaluer les marges de manœuvre techniques dont peuvent disposer les agriculteurs pour faire évoluer leurs systèmes agroforestiers à base de cacaoyer une fois en phase adulte.

Notre analyse des marges de manœuvre techniques dont disposent les agriculteurs pour augmenter le rendement potentiel de leurs cacaoyères adultes repose sur l'hypothèse que la structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est flexible dans le temps.

Pour analyser la flexibilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, nous allons nous baser sur l'analyse de leurs évolutions passées. L'objectif de notre étude est d'identifier les évolutions de structure que ces systèmes ont pu connaître à partir de l'analyse de l'évolution des pratiques de conduite au cours du temps. Il s'agit aussi d'observer l'impact de ces évolutions de structure sur les performances actuelles des cacaoyères. Nous aborderons également l'analyse des déterminants des pratiques des agriculteurs et de leurs évolutions, de manière à proposer des orientations techniques aux agriculteurs tenant compte de leur propre logique technique.

Le concept de flexibilité est issu des sciences de gestion et de l'économie industrielle (Chia et Marchenay, 2008) et s'intéresse en particulier aux propriétés qui permettent à une entreprise de s'adapter à un contexte changeant sans modification profonde de sa nature (Marchesnay, 2004). Deux échelles temporelles peuvent être prises en compte (Tarondeau, 1999) : le long terme avec la flexibilité « *stratégique* » qui est « *la capacité à modifier la structure, les ressources et les compétences de l'entreprise pour s'adapter ou devancer les évolutions de l'environnement* » et le court terme avec la flexibilité « *opérationnelle* » qui au contraire concerne « *l'ajustement au cours du cycle de production à des aléas divers* ». Le concept de flexibilité est largement mobilisé en zootechnie où les systèmes d'élevage sont de plus en plus évalués en termes de capacité d'adaptation en vue « *de résister à un ensemble hétérogène de perturbations sur le moyen terme et à s'inscrire dans une dynamique, un mouvement, qui permette de durer sur le long terme* » (Mignon, 2001 ; Ingrand et al., 2009).

Le concept de flexibilité apparaît relativement proche de celui de résilience¹² car les deux *« rendent compte du comportement de systèmes soumis en continu à des perturbations, certaines pouvant être des chocs nécessitant des reconfigurations »* et *« ils différencient différents horizons temporels : le long terme des cycles adaptatifs, de la succession de phases de maîtrise croissante puis de reconfiguration du système versus le court terme de flexibilité opérationnelle »* (Dedieu et Ingrand, 2010).

Dans le cas des systèmes de culture, la flexibilité est le résultat des pratiques des agriculteurs et intègre également leurs objectifs et leur perception des risques (Coquil et al., 2010). Les caractéristiques structurelles et biotechniques du système ainsi que son fonctionnement peuvent ainsi évoluer pour faire face à l'incertitude.

En ce qui concerne les systèmes à base de plantes annuelles, les décisions tactiques des agriculteurs qui déterminent les pratiques d'assolement et de rotation des cultures ont un caractère récurrent qui permet à l'agriculteur d'adapter son système de production végétale en cas, par exemple, de modification du contexte socio-économique dans lequel il évolue (Sebillotte et Soler, 1990 ; Papy, 1996 ; Aubry et Michel-Dounias, 2006). Mais pour les cultures pérennes comme le cacaoyer, dont le cycle biologique s'étend sur plusieurs décennies, les décisions lors de la mise en place de la parcelle sont données au départ et pour la vie de la plantation. La réponse aux variations du contexte socio-économique peut donc difficilement résider dans un réajustement de l'assolement et des rotations comme cela peut être le cas avec les espèces annuelles. De plus, compte tenu de la dimension temporelle des espèces pérennes, Nesme et al (2003) montrent, en arboriculture fruitière, que les choix réalisés lors de la mise en place des parcelles influencent en grande partie la conduite future du peuplement et les pratiques de l'agriculteur sur le long terme. Mais ces auteurs n'abordent pas l'évolution au cours du temps du contexte dans lequel l'agriculteur a fait ses choix techniques. Au Cameroun, en hévéaculture, Michels (2005) fait ce choix et observe l'évolution des pratiques dans le temps en contextualisant les choix techniques des agriculteurs notamment en ce qui concerne d'une part, les modalités de mise en place et d'autre part, la conduite annuelle de la saignée des peuplements d'hévéa.

Dans le cas des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, nous faisons l'hypothèse qu'une fois installés, il est possible pour les agriculteurs de les modifier profondément de manière à s'adapter à un changement et ce, en ne jouant pas seulement sur la modification de leur conduite annuelle, mais en intervenant sur leur structure par la mise en œuvre de pratiques spécifiques.

Nous avons basé notre étude sur la reconstitution *a posteriori* de l'histoire culturelle de 61 cacaoyères agroforestières en relation avec l'évolution du contexte socio-économique et familial des agriculteurs. Ensuite, nous avons analysé l'impact de l'évolution des pratiques sur l'évolution de la structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer. Enfin, nous avons mis en lien cette dernière avec la structure actuelle de ces cacaoyères puis avec l'état et les performances actuelles des peuplements cacaoyers, en termes de rendement potentiel en cacao marchand (chapitre 4).

¹² La résilience est un concept utilisé notamment en écologie (Cyrulnick, 2001). A l'échelle de l'exploitation agricole, il permet de rendre compte de *« la capacité d'un système à perdurer, c'est-à-dire à être capable de faire face à des perturbations à toutes les étapes du cycle adaptatif »* (Darnhofer et al., 2010).

2. Matériel et méthodes

2.1. Zones d'étude et dispositif d'observation

Nos travaux de recherche ont été conduits dans le dispositif mis en place dans le cadre de l'évaluation des peuplements cacaoyers que nous avons réalisée en mobilisant la méthode du diagnostic agronomique régional (chapitre 4). Cette évaluation nous permet de disposer de nombreux éléments sur la caractérisation de la structure des cacaoyères agroforestières et sur le fonctionnement de ces dernières. Ce dispositif a été installé dans trois zones de la région Centre, précédemment décrites dans le chapitre 4, où l'on observe des différences régionales de structure des cacaoyères agroforestières, en particulier entre la zone de transition forêt-savane de Bokito et les zones forestières de Zima et de Ngomedzap (chapitre 4).

Le réseau de parcelles d'agriculteurs installé dans ces trois zones en 2007 permet de disposer d'une part, d'une gamme de cacaoyères représentatives des différents stades de développement des peuplements cacaoyers au cours du temps, par variation de l'ancienneté des créations (chronoséquences) (Pickett, 1991), et d'autre part, d'agriculteurs d'âges variés situés à des étapes différentes de leur cycle de vie et représentant ainsi une diversité de situations.

Ce dispositif comprend au total 61 parcelles dont l'âge varie de 5 à 77 ans, réparties en fonction de quatre classes d'âge (chapitre 4). Les cacaoyères appartiennent à 40 agriculteurs, plusieurs cacaoyères d'âge différent pouvant être exploitées par un même agriculteur. L'âge des agriculteurs, répartis en fonction de quatre classes d'âge (tableau 1), varie de 23 à 74 ans.

Tableau 1 : Effectif des agriculteurs par classe d'âge et par zone.

Zones d'étude	Classes d'âge des agriculteurs				Total
	< 40 ans	40-50 ans	51-60 ans	> 60 ans	
Bokito	2	8	2	2	14
Zima	3	4	3	2	12
Ngomedzap	2	3	6	3	14
Total	7	15	11	7	40

2.2. Méthodologie

2.2.1. L'analyse des pratiques

La distinction entre pratiques et techniques réside dans le fait que les pratiques relèvent de l'action et sont vues comme « *l'insertion dans le réel* » des techniques qui, elles, relèvent du savoir. Il existe ainsi des relations réciproques entre techniques et pratiques conduisant tour à tour à « *mettre une technique en pratique* » et à « *tirer de la pratique des enseignements techniques* » (Landais et Deffontaines, 1990). L'étude de l'efficacité des pratiques amène toutefois à faire une distinction entre leurs « *conséquences* » et leurs « *effets* » (Landais, 1987). Les conséquences d'une pratique peuvent en effet se manifester à des niveaux divers alors que l'étude de ses effets renvoie à des approches biotechniques dont l'objectif est de connaître les résultats d'une pratique sur les objets directement et matériellement concernés.

Pour aborder l'étude des pratiques, Landais (1987) propose de distinguer trois volets complémentaires qui reviennent, pour l'observateur des pratiques de l'agriculteur, « à se poser les questions suivantes : *que fait-il ? Quels sont les résultats de son action ? Pourquoi fait-il cela ?* » (Landais et Deffontaines, 1990).

Une telle approche revient tout d'abord à étudier les modalités d'une pratique, c'est-à-dire identifier les pratiques observées en privilégiant l'aspect descriptif, les « *manières de faire de l'agriculteur* » ; puis, à examiner les résultats de l'action de l'agriculteur, à savoir les effets et les conséquences d'une pratique ; et enfin, à identifier les déterminants de la mise en œuvre d'une pratique donnée, à un instant donné, par rapport d'une part, au projet de l'agriculteur et d'autre part, à l'ensemble du système géré par l'agriculteur.

D'un point de vue méthodologique, la compréhension des conditions et des déterminants de la mise en œuvre des pratiques par les agriculteurs impose d'associer des travaux d'enquête, des mesures ou des expérimentations. L'enquête est en effet la démarche générale qui s'impose mais une confrontation du « *dit* » et du « *fait* » s'avère indispensable pour caractériser les pratiques et éclairer les raisons des choix techniques (Milleville, 1987). Cela implique par conséquent de prendre en considération plusieurs niveaux d'espace, de temps et d'organisation : placette d'observation du peuplement végétal, parcelle, exploitation, terroir, petite région, car ce qui se passe à un niveau donné dépend du fonctionnement de niveaux plus englobants. Par ailleurs, le « *fonctionnement* » d'un système doit être resitué dans sa dimension temporelle et toute pratique doit être étudiée dans le temps (Landais et Deffontaines, 1990)¹³.

2.2.1.1. Adaptation au temps long des cacaoyères

L'analyse des pratiques des agriculteurs a essentiellement été mobilisée sur des espèces annuelles à la fois en conditions tempérées et en conditions tropicales (Milleville, 1972). En cacaoculture, l'analyse des pratiques soulève néanmoins plusieurs difficultés méthodologiques.

Comme nous l'avons déjà souligné, le cacaoyer est une espèce pérenne dont le cycle biologique peut aller jusqu'à 80 ans. Dans le même temps, le temps de vie d'un peuplement cacaoyer dans un système agroforestier peut aller au-delà en raison de la redensification permanente mise en œuvre par les agriculteurs (chapitre 1). L'analyse des pratiques implique par conséquent de prendre en compte le temps long de ces systèmes. Pour ce faire, nous formaliserons l'histoire culturelle d'une cacaoyère sous la forme d'une trajectoire de conduite, chaque étape de cette trajectoire correspondant à un changement radical de pratiques lié à un changement du contexte dans lequel se trouve la cacaoyère¹⁴. Chaque changement de pratiques peut correspondre à un changement de modèle technique, au changement du projet productif d'un même agriculteur, voire d'un autre agriculteur en cas de transmission de la cacaoyère.

Cette approche est inspirée de la méthodologie adoptée pour aborder les processus de changement dans les systèmes d'élevage (Madelrieux et al., 2002 ; Moulin et al., 2008).

¹³ Se reporter à la partie méthodologie de la thèse (3.2. Notion de pratiques).

¹⁴ Se reporter à la partie méthodologie de la thèse (3.4. Notion de trajectoire).

A partir de l'analyse détaillée des trajectoires de changement, ces auteurs différencient des changements continus, ou phase de « *cohérence* » où la dynamique du système est marquée par des ajustements qui n'entraînent pas forcément de reconfiguration du système, et des phases de « *rupture* » associées à des chocs qui, au contraire des phase de cohérence, aboutissent à une reconfiguration du système et à une nouvelle cohérence (Dedieu et Ingrand, 2010). Cette approche nous permettra d'une part, de distinguer les différentes périodes au cours desquelles la cacaoyère a connu une conduite homogène et d'autre part, d'identifier, entre deux phases de conduite homogène, les modalités de passage d'une phase à l'autre et leurs déterminants : changement de gestionnaire, modification des objectifs de l'agriculteur, évolution des références techniques ou du contexte socio-économique.

De plus, la durée de vie de la cacaoyère dépassant celle de l'agriculteur, une grande partie des cacaoyères agroforestières du Centre-Cameroun a été transmise à une nouvelle génération d'agriculteurs. L'analyse temporelle des pratiques implique donc d'enquêter des agriculteurs qui ne sont pas forcément ceux qui ont installé les cacaoyères. Dans ce cas, nous avons croisé les collectées à dire d'agriculteur avec des enquêtes spécifiques réalisées dans chacune des trois zones d'étude auprès de personnes ressources (chefs de village, anciens, etc.). Ces enquêtes ont permis de retracer les différentes phases qui ont marqué l'histoire régionale de la cacaoculture et de reconstituer l'évolution des modèles techniques au cours du temps. Des éléments sur le développement historique de la cacaoculture, depuis l'introduction du cacaoyer au Cameroun à nos jours, ont également été collectés à partir de la bibliographie existante.

De façon générale, l'histoire culturelle a été retracée à grands traits dans le cas de certaines cacaoyères anciennes n'étant plus gérées par les agriculteurs qui les ont mis en place, et de façon plus précise dans le cas des cacaoyères plus récentes gérées par les agriculteurs qui les ont installées.

2.2.1.2. Adaptation aux différents types de pratiques en cacaoculture

Contrairement aux systèmes de culture à base de plantes annuelles où les pratiques des agriculteurs sont aisément identifiables et ont, globalement, un impact à court terme sur l'état du peuplement étudié, en cacaoculture, on peut distinguer des pratiques d'implantation, de régénération et d'entretien¹⁵. Ces trois types de pratiques présentent des pas de temps différents (annuel pour les pratiques d'entretien ; pluriannuel pour les pratiques de régénération) et des unités de gestion différentes (peuplement pour les pratiques d'entretien ; individu pour les pratiques de régénération). Compte tenu de la longévité du cacaoyer et des espèces qui y sont associées, ces différents types de pratiques sont à la fois en interaction dans le temps et n'impactent pas de la même manière la structure des cacaoyères agroforestières.

Le tableau 2 permet de reconstituer, à partir de certaines conclusions de l'évaluation agronomique du peuplement cacaoyer (chapitre 4) et d'éléments collectées lors des enquêtes (chapitres 1 et 2), un itinéraire de conduite « *normale* » sur le temps long tenant compte de l'évolution écophysologique des espèces en présence.

¹⁵ Se reporter à la partie méthodologie de la thèse (3.2. Notion de pratiques).

Tableau 2 : Temps, types de pratiques et impact sur la structure des cacaoyères agroforestières (en grisé, variable sur laquelle intervient la pratique).

Age de la cacaoyère indicatif (années)	Pratiques	Types de pratiques*	Variables de structure				Peuplements associés	
			Peuplement cacaoyer			Type architectural	Densités	Type d'espèce
			Densité	Age Moyen				
<div> <div>0</div> <div>10</div> <div>40</div> </div>	Précédent cultural	I						
	Conduite pré-implantation des cacaoyers	I						
	Année de plantation de la cacaoyère	I						
	Choix du matériel végétal cacaoyer	I						
	Modalités d'implantation de la cacaoyère	I						
	Plantes annuelles associés	I						
	Taille de formation des cacaoyers	I						
	Réglage de l'ombrage	R						
	Entretien du sol	E						
	Lutte anti-mirides	E						
	Lutte anti-pourriture brune	E						
	Redensification	R						
	Entretien du sol	E						
	Lutte anti-mirides	E						
	Lutte anti-pourriture brune	E						
	Réglage de l'ombrage	R						
	Taille des cacaoyers	R						
	Redensification	R						
	Entretien du sol	E						
	Lutte anti-mirides	E						
	Lutte anti-pourriture brune	E						
	Réglage de l'ombrage	R						
	Taille des cacaoyers	R						
	Redensification	R						
	Entretien du sol	E						
	Lutte anti-mirides	E						
	Lutte anti-pourriture brune	E						
	Réglage de l'ombrage	R						
	Taille des cacaoyers	R						
	Redensification	R						
	Recépage des cacaoyers	R						

* I = pratique d'implantation; E = pratique d'entretien; R = pratique de régénération

Avant la mise en place de la cacaoyère, les pratiques d'implantation du système varient ainsi selon le précédent de végétation et les modalités de mise en place des espèces annuelles et pluriannuelles cultivées par l'agriculteur, comme nous l'avons montré en particulier pour les cacaoyères installées sur savane (chapitre 2).

Les pratiques de régénération varient en fonction du stade de développement de la cacaoyère. A l'entrée en production des cacaoyers, elles concernent principalement le réglage de l'ombrage des cacaoyers. Ensuite, les pratiques de réglage de l'ombrage sont permanentes tout le long de la vie de la cacaoyère, l'agriculteur éliminant les arbres en surnombre en cas d'ombrage trop dense ou au contraire, introduisant d'autres arbres pour pallier un ombrage insuffisant. Dans le même temps, comme nous l'avons montré dans le chapitre 1, la redensification des peuplements cacaoyers est permanente quel que soit le stade de développement de la cacaoyère. Par contre, les pratiques de régénération des cacaoyers sénescents sont davantage mises en œuvre dans les cacaoyères âgées de plus de 40 ans.

Les pratiques d'entretien sont, quant à elles, réalisées annuellement.

A partir de ces différents éléments, nous ferons le choix de ne retenir que les pratiques qui impactent la structure des cacaoyères pour reconstituer les différents états structuraux de la cacaoyère, c'est-à-dire les pratiques d'implantation et de régénération. Les pratiques d'entretien seront cependant prises en compte lors du passage d'une étape de la trajectoire de conduite de la cacaoyère à une autre.

2.2.2. Analyse des structures des cacaoyères sur le temps long

La structure actuelle d'une cacaoyère peut être appréhendée comme le produit de l'histoire culturelle de celle-ci. Dans le même temps, elle est elle-même le produit d'une succession d'états structuraux, produit d'une trajectoire de conduite.

A partir des trajectoires de conduite, nous reconstituerons donc les trajectoires d'états structuraux des cacaoyères étudiées. Cette reconstitution sera basée à la fois sur :

- l'observation de la structure actuelle de cacaoyères appartenant à différentes classes d'âge ;
- la reconstitution avec les agriculteurs des états structuraux passés en se basant sur les différentes phases qui caractérisent la trajectoire de conduite de leurs cacaoyères ;
- la connaissance des processus écophysologiques à l'œuvre dans les cacaoyères agroforestières, mis en évidence lors de l'évaluation du peuplement cacaoyer (chapitre 4).

Pour reconstituer avec les agriculteurs les états structuraux passés, trois indicateurs clés ont été identifiés. Il s'agit de la densité des cacaoyers, de la densité des peuplements associés et de la proportion de cacaoyers recépés. Outre le fait que le diagnostic agronomique a montré que la densité des cacaoyers est positivement liée à celle des arbres associés, ces deux indicateurs, ainsi que la proportion de cacaoyers recépés, ont du sens pour l'agriculteur qui peut ainsi aisément reconstituer l'évolution de ces trois variables au cours du temps en fonction des différentes phases qui ont marqué l'histoire de sa cacaoyère.

2.2.3. Bilan : un croisement de différentes enquêtes

Outre la mobilisation de toutes les observations collectées lors de l'évaluation du peuplement cacaoyer (chapitre 4), notre analyse repose tout d'abord sur une analyse historique du développement de la cacaoculture reconstituée à partir de la bibliographie disponible et d'entretiens avec plusieurs personnes ressources de chaque zone d'étude (chefs de village, anciens, etc.).

Puis, au niveau du réseau d'agriculteurs, trois passages d'enquêtes ont été réalisés :

- Un premier passage d'enquêtes a porté sur les moments clés qui ont marqué l'histoire de chaque cacaoyère, de sa création à nos jours, en lien avec le récit de vie de l'agriculteur, de son installation au village à aujourd'hui. Cela nous a permis d'identifier, notamment pour les plus anciennes cacaoyères, les différentes phases qui se sont succédé au cours du temps et d'en déduire les phases de cohérence du système de culture, éventuellement séparées entre elles par une ou plusieurs phases de rupture.
- Un second passage d'enquêtes a plus spécifiquement porté sur l'histoire culturelle de la cacaoyère en accordant une attention particulière aux pratiques qui interviennent sur la structure des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer : modalités de mise en place du système et des modalités de gestion du peuplement cacaoyer et des peuplements associés au cours du temps (redensification du peuplement cacaoyer, recépage des cacaoyers, élimination ou introduction d'arbres associés afin de régler l'ombrage des cacaoyères et lutte phytosanitaire contre les mirides).
- Enfin, un troisième passage d'enquête a permis de reconstituer avec l'agriculteur l'évolution de la structure de sa cacaoyère au cours du temps à partir des trois indicateurs clés déjà évoqués (densité des cacaoyers et des peuplements associés, proportion de cacaoyers recépés).

3. Résultats

3.1. Histoire de la cacaoculture et des pratiques au Centre Cameroun

3.1.1. Un développement de la cacaoculture en quatre phases

Quatre grandes phases peuvent être distinguées dans le processus historique qui a marqué le développement de la cacaoculture au Centre-Cameroun.

3.1.1.1. De 1886 à 1918 : les débuts de la diffusion du cacaoyer

Le cacaoyer est introduit au Cameroun en 1886 par les Allemands qui occupent le pays depuis 1884 (Burle, 1962). La multiplication des premières semences, de type Amelonado, permet de créer de nombreuses plantations coloniales, d'abord autour du mont Cameroun (Limbe, Kumba), puis le long de la côte (Kribi, Bipindi) (Michel, 1970) (figure 1). Recrutés de force par l'Administration coloniale allemande, plusieurs milliers d'autochtones originaires de différentes régions du pays, et en particulier du Centre-Sud, travaillent dans ces plantations et y découvrent la cacaoculture et son intérêt économique. Nombreux sont ceux qui subtilisent alors des cabosses pour les revendre ou pour créer leur propre verger (Assoumou, 1977).

Figure 1 : Diffusion de la cacaoculture au Cameroun à partir de Limbé.



A partir de 1900, des cacaoyères villageoises apparaissent ainsi dans le voisinage immédiat des plantations coloniales allemandes, d'abord clandestinement en raison des interdictions de l'Administration, puis ouvertement lorsque la cacaoculture villageoise est encouragée à partir de 1910. A partir de Kribi, où les autochtones utilisés comme porteurs sont souvent rémunérés à l'aide de cabosses (Assoumou, 1977), la cacaoculture se développe progressivement le long de l'axe Kribi-Lolodorf-Ebolowa, puis vers Sangmelima, Mbalmayo et Yaoundé (Burle, 1962 ; Assoumou, 1977). En 1914, l'arrêt de l'activité commerciale allemande lié à la première guerre mondiale entraîne le retour dans leur village d'origine des travailleurs des plantations coloniales qui, à cette occasion, ramènent avec eux des cabosses qui leur permettent d'installer une cacaoyère.

Les débuts de la cacaoculture au Cameroun apparaissent donc diffus et globalement inorganisés. Aucun modèle technique n'est proposé aux agriculteurs qui reproduisent donc les pratiques observées dans les plantations coloniales où le cacaoyer est d'abord cultivé sous ombrage : « *Le cacaoyer exigeant un minimum d'ombrage, on utilisa en plus des arbres qu'on laissait subsister ça et là aussi bien de l'hévéa que de la banane plantain* » (Assoumou, 1977). Les premières cacaoyères d'agriculteurs sont mises en place dans ce que Dounias et Hladick (1996) appellent les « *arrière-cours agroforestières* ». Les fèves sont directement semées derrière les habitations sous les arbres forestiers et fruitiers. La cacaoculture est alors une « *une culture de case* » (Santoir, 1992).

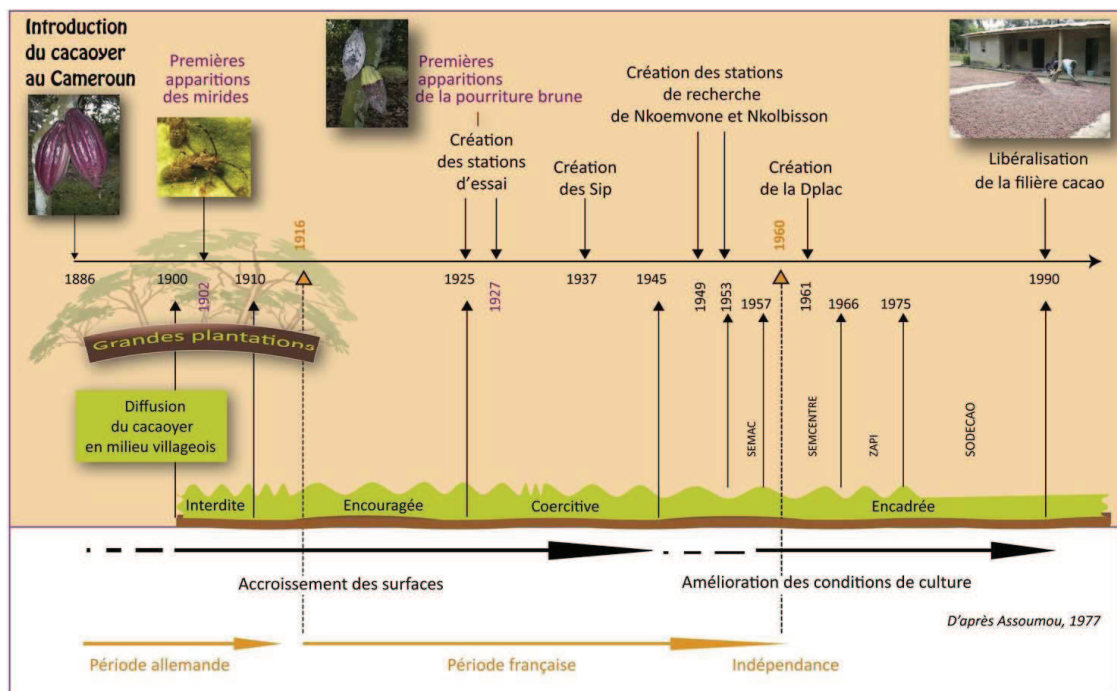
3.1.1.2. 1918-1945 : les agriculteurs posent les bases de leurs pratiques actuelles

A partir de 1918, l'Administration française gère la partie orientale du Cameroun et développe la cacaoculture en s'appuyant, contrairement à l'Administration allemande, sur le petit paysannat (figure 2). Jusqu'en 1924, la politique des autorités coloniales françaises n'entraîne pas un accroissement significatif de la production. L'Administration française opte alors pour une politique coercitive basée sur un ensemble de mesures réglementaires et fiscales (Assoumou, 1977). Le relèvement de l'impôt de capitation, dont le montant est triplé entre 1922 et 1933, et le code de l'indigénat¹⁶, introduit en 1924, vont s'avérer être de puissants accélérateurs du développement de la cacaoculture (Delpech, 1978 ; Santoir, 1992). La production de cacao marchand est multipliée par 14 entre 1920 et 1945, et passe de 2 583 à 38 440 tonnes. Dans le même temps, la superficie du verger cacaoyer passe de 9 221 à 134 877 ha (Assoumou, 1977). La diffusion de la cacaoculture s'opère notamment à partir d'Eséka, principal centre de paiement de l'impôt, d'où les autochtones rapportent dans leurs villages des semences prélevées dans les cacaoyères installées dans cette zone.

Les transformations socio-économiques liées à la colonisation expliquent aussi l'expansion rapide de la cacaoculture au Centre-Sud du Cameroun. L'introduction de l'argent dans les échanges commerciaux mais aussi sociaux, notamment pour le paiement de la dot, crée un terrain favorable à l'expansion de la cacaoculture en milieu rural.

¹⁶ Le code de l'indigénat est un ensemble d'interdits administratifs qui confère aux chefs de circonscription administrative les pouvoirs les plus étendus en matière disciplinaire. L'indigène pouvait en effet être sommairement puni (chicote, amende, prison, etc.) pour les infractions les plus diverses (34 au total) : défaut d'obtempérer aux convocations de l'Administration, acte irrespectueux à l'égard d'un représentant de l'autorité, entretien insuffisant des cacaoyères, mauvaise volonté à payer les impôts, etc.

Figure 2 : Grandes étapes du développement de la cacaoculture au Centre-Sud du Cameroun.



Le rôle de marqueur foncier joué par le cacaoyer bouleverse par ailleurs les rapports que les autochtones entretiennent à la terre. Ces rapports à la terre se traduisent par une absence d'appropriation privée du sol et un simple droit d'usufruit consenti le temps d'une culture à la personne qui l'a défrichée (Weber, 1977 ; Leplaideur, 1985). Les terres ensemencées avec du cacaoyer portent une nouvelle « *culture* » ayant une durée de vie supérieure à plusieurs décennies. Ce « *bien nouveau* » est alors transmissible aux héritiers. De bien d'usage, limité auparavant à environ six ans, il devient droit d'usufruit couvrant une à deux générations, voire davantage. Dès lors, la cacaoculture se développe à la faveur des défrichements forestiers réalisés pour la mise en place des champs polycultureaux associant des espèces annuelles (maïs, arachide, macabo) et des espèces pluriannuelles (manioc, bananier plantain) (Santoir, 1992 ; Dounias et Hladick, 1996). La présence des arbres forestiers conservés lors de l'abattage de la forêt et celles des arbres fruitiers complantés avec les cacaoyers renforcent ce droit d'usufruit et pérennisent le droit foncier au-delà de l'espérance de vie du cacaoyer (Dounias, 1996).

Au cours de cette période, l'Administration française cherche à accompagner les dynamiques paysannes spontanées et tente de répondre aux besoins des autochtones en fournitures agricoles et en connaissances techniques. Les premières stations agricoles sont créées en 1925. En 1937, les Sociétés indigènes de prévoyance (Sip) deviennent les instruments privilégiés de la politique coloniale française de développement rural et sont chargées de vulgariser des techniques agricoles élémentaires, et de distribuer de petits équipements agricoles (Varlet, 2000).

Dans le même temps, un modèle technique est proposé aux agriculteurs mais les faibles moyens humains et financiers de l'Administration ne permettent pas de le vulgariser à grande échelle (Assoumou, 1977). Ce modèle privilégie en particulier la conduite des cacaoyères sous ombrage aménagé et le respect de certaines normes de plantation comme l'écartement de trois mètres entre les cacaoyers.

De 1918 à 1945, l'expansion de la cacaoculture au Centre-Sud du Cameroun est donc le fait d'une majorité d'agriculteurs qui, en l'absence d'un modèle technique qui puisse leur servir de référence, mettent en place et gèrent leurs cacaoyères selon leurs propres logiques techniques.

3.1.1.3. 1945-1990 : les agriculteurs ajustent leurs pratiques avec les apports de l'encadrement technique

Après la seconde guerre mondiale, le régime colonial est assoupli avec l'abrogation du code de l'indigénat et l'interdiction du travail forcé. Dans le même temps, l'encadrement des agriculteurs est renforcé.

Les stations de recherche de Nkoemvone et de Nkolbisson sont créées respectivement en 1949 et 1953 afin d'améliorer les méthodes culturales et le matériel végétal distribué aux agriculteurs. Des études sont engagées pour mieux connaître les modalités de lutte contre les mirides, dont les premiers dégâts sont signalés en 1902 (Collingwood, 1977), et contre la pourriture brune des cabosses signalée pour la première fois en 1927 (Nyassé, 1997). L'aide officielle au développement de la cacaoculture est confiée à des différents organismes techniques qui se succèdent dans le temps : Secteurs expérimentaux de modernisation (Sem), Secteur expérimental de modernisation agricole des cacaoyères (Semac) puis Secteur expérimental de modernisation du Centre (Semcentre) qui interviendra jusqu'en 1966. L'encadrement des agriculteurs se traduit par des distributions de matériel végétal sélectionné et par des actions de démonstration conduites dans de nombreuses cacaoyères où les opérations de désherbage et de taille des cacaoyers, et les traitements insecticides et fongicides sont réalisées par le chef de poste et ses manœuvres (Champaud, 1966 ; Burle, 1962). En 1961, face à l'intensité des dégâts liés aux mirides, une Direction de la lutte phytosanitaire contre ce ravageur (Dlpac) est créée (Varlet, 2000).

A la fin des années 1960, ces différentes approches ayant montré leurs limites, des Zones d'action prioritaires intégrées (Zapi) sont créées puis dissoutes en 1975 avant la mise en place de la Société pour le développement du cacao (Sodecao) (Varlet, 2000). Les actions de la Sodecao permettent ainsi d'assurer une continuité dans l'appui aux producteurs, sous forme de distributions de fongicides pour lutter contre la pourriture brune des cabosses (entièrement subventionnés depuis 1977), de traitements contre les mirides par des brigades phytosanitaires, de distributions gratuites de matériel végétal amélioré et de ventes de pulvérisateurs et de petits matériels.

L'encadrement des agriculteurs vise à diffuser auprès du plus grand nombre un nouveau modèle technique qui prend en compte les avancées de la recherche agronomique dans la conduite des cacaoyères. Ce modèle, qui évolue par rapport au modèle proposé initialement par l'encadrement technique dans les années 1940, concerne la mise en place de nouvelles cacaoyères et la réhabilitation des anciens vergers (Grimaldi, 1979). Il repose sur la diffusion d'hybrides sélectionnés qui expriment leur potentiel de production lorsqu'ils sont conduits sans ombrage ou sous un ombrage très léger. Ce matériel végétal est distribué sous forme de semences que les agriculteurs doivent semer en sachet et installer dans des pépinières. Ce nouveau modèle repose aussi sur le respect de normes de plantation lors de la mise en place des cacaoyers : abattage quasi-total des arbres, pas de cultures annuelles avant l'installation des cacaoyers, densité de 1 600 cacaoyers ha⁻¹ (soit un écartement de 2,5 m entre les cacaoyers).

Il suppose enfin le respect de l'itinéraire technique recommandé par la recherche agronomique intensif en travail et en intrants (traitements chimiques contre les mirides et la pourriture brune des cabosses) mais cependant sans fertilisation chimique.

La réhabilitation des anciennes cacaoyères mises en place à partir des années 1930 est également prise en compte par l'encadrement technique. Elle implique d'une part, la redensification des peuplements cacaoyers avec du matériel végétal amélioré (hybrides) sous ombrage temporaire de bananiers plantain ou de *Tithonia* et d'autre part, le recépage des vieux cacaoyers à 30 cm au dessus du sol en protégeant les rejets à venir contre les attaques d'insectes. En cas d'ombrage insuffisant, la plantation tous les huit à dix mètres de distance d'espèces non antagonistes à croissance rapide, comme *Cassia spectabilis*, est recommandée pour rétablir un ombrage homogène dans la cacaoyère. Les arbres d'ombrage en excès qui peuvent présenter de trop fortes concurrences pour les cacaoyers et favoriser la pourriture brune, ou susceptibles d'être des plantes-hôtes pour les mirides (Piart, 1977), doivent être éliminés par annelation.

De 1974 à 1990, le modèle technique diffusé par la Sodecao apparaît donc à l'opposé des pratiques des agriculteurs qui intègrent cependant un certain nombre d'innovations qui leur sont proposées pour ajuster leurs pratiques.

Dans le même temps, le développement de la production de cacao est basé sur une régulation étatique de la filière basée sur la fixation et le contrôle des prix et des rémunérations des opérateurs et sur la gestion des mécanismes de stabilisation par une caisse de stabilisation, l'Office national de commercialisation des produits de base (Oncpb) créé en 1975. Ce système repose principalement sur la fixation d'un prix garanti au producteur (bord champ) et la fixation d'un barème qui garantit l'ensemble des charges de commercialisation supporté par les intermédiaires et la rémunération de ceux-ci, la caisse de stabilisation prenant en charge la différence entre le prix garanti et le prix de vente (prélèvement ou soutien).

3.1.1.4. Depuis 1990 : livrés à eux-mêmes, les agriculteurs confortent leurs pratiques

A la fin des années 1980, la baisse des cours mondiaux du cacao¹⁷, liée à un excédent structurel de l'offre par rapport à la demande, entraîne une crise des liquidités et la désorganisation du système de commercialisation mis en place dans les années 1970. Face à la détérioration des finances publiques, L'Etat répercute les effets de la crise sur les producteurs de cacao : en 1989, le prix d'achat du cacao baisse ainsi de 40 % (Losch et al., 1991).

Les pouvoirs publics ne sont plus en mesure également d'assurer le fonctionnement des organismes d'appui et de vulgarisation comme la Sodecao dont les activités sont mises en veille à partir de 1990. L'intervention des bailleurs de fonds internationaux entraîne en 1991 la suppression de l'Oncpb. En 1994/1995, l'administration des prix et leur stabilisation disparaissent totalement et marquent le début de la libéralisation de la commercialisation du cacao (Varlet, 2000).

¹⁷ L'effondrement des cours mondiaux des matières premières agricoles (café, cacao, coton) est concomitant d'une part, à la baisse des prix du pétrole, dont le Cameroun est pays producteur depuis quelques années, et d'autre part, à la baisse du dollar.

Une politique active est menée pour appuyer l'émergence et l'essor d'organisations de producteurs de cacao car l'objectif est de leur transférer les fonctions anciennement assurées par les pouvoirs publics. Mais ce processus est lent et il s'avère que les organisations de producteurs qui se créent s'investissent principalement dans la commercialisation du cacao, quelque peu dans l'approvisionnement en intrants mais très rarement dans la vulgarisation technique auprès de leurs membres ou dans les prestations phytosanitaires collectives comme la lutte contre les mirides (Varlet, 2000).

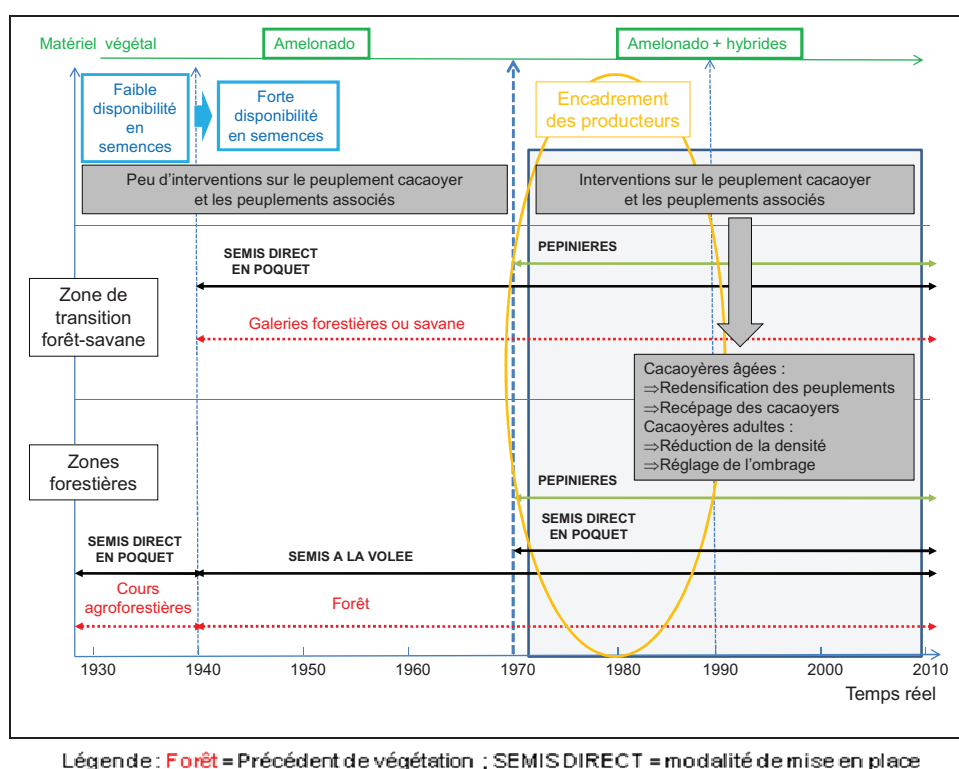
Fortement appuyés et encadrés jusque dans les années 1990, les producteurs de cacao du Centre-Sud du Cameroun se retrouvent confrontés aux fortes fluctuations des cours mondiaux du cacao tout en ne bénéficiant plus de la possibilité de s'approvisionner en produits phytosanitaires subventionnés pour assurer la protection phytosanitaire de leurs cacaoyères. Dans ce contexte, l'évolution de la production nationale est caractérisée par de fortes fluctuations liées aux variations des prix d'achat bord-champ.

Depuis 2001, la remontée des cours mondiaux du cacao, liée à la situation politique en Côte d'Ivoire, premier producteur mondial de cacao, et leur maintien à un niveau élevé par rapport aux années précédentes, se traduit par une progression constante de la production qui a permis au Cameroun d'exporter 210 000 tonnes en 2008-2009 (Anon, 2010).

3.1.2. Les conséquences sur l'évolution des pratiques des agriculteurs

Au regard des éléments historiques sur les conditions de la diffusion de la culture du cacaoyer dans le bassin de production du Centre-Sud du Cameroun, trois phases peuvent être distinguées dans l'histoire technique de la cacaoculture (figure 3).

Figure 3 : Evolution régionale des pratiques des agriculteurs de 1930 à nos jours.



- D'une part, jusqu'en 1970, la cacaoculture est globalement peu encadrée ;
- D'autre part, de 1970 à 1990, les agriculteurs bénéficient d'un encadrement renforcé qui leur permet de s'approprier un certain nombre de techniques ;
- A partir de 1990, les agriculteurs ne sont plus à nouveau encadrés.

Au cours de ces trois périodes, l'évolution des pratiques des agriculteurs se traduit par une évolution des modalités de mise en place des peuplements cacaoyers et des modalités de leur gestion. Des différences sont toutefois constatées entre la zone de transition forêt-savane de Bokito et les zones forestières de Zima et de Ngomedzap ;

3.1.2.1. Des modalités de mise en place des cacaoyères qui évoluent au cours du temps

Dans les zones forestières de Ngomedzap et de Zima, les cacaoyères les plus anciennes, installées dans les années 1930, sont à faible densité. Les agriculteurs sèment les quelques fèves dont ils disposent en poquets derrière les habitations, sous les arbres forestiers et fruitiers. Du fait de la rareté des semences¹⁸, les parcelles sont de petite taille et les écartements adoptés par les agriculteurs sont importants, de l'ordre de quatre mètres entre chaque poquet. Les densités de plantation de l'époque se situent donc entre 700 à 800 cacaoyers ha⁻¹ comme en témoigne une parcelle de notre réseau et d'autres parcelles hors réseau créées à cette époque.

A partir des années 1940, les modalités de mise en place des cacaoyères changent. La plupart des cacaoyères sont installées dans les champs polycultureaux créés après une défriche-brûlis, et les agriculteurs sèment les fèves à la volée, à forte densité, avant de procéder à leur enfouissement. Après avoir choisi l'emplacement du futur champ, en se basant souvent sur des indicateurs de fertilité comme la couleur du sol ou la présence de certaines essences forestières¹⁹ (*Milicia excelsa*, *Ceiba pentandra*, *Terminalia superba*, *Pycanthus angolensis*, *Spathodea campanulata*, *Ricinodendron heudelotii*), les agriculteurs réalisent un abattage sélectif en début de saison sèche. Quelques arbres forestiers d'un diamètre important et trop difficiles à couper sont conservés, d'autres espèces permettant de procurer un ombrage léger aux jeunes cacaoyers (*Ficus exasperata*, *Cordia platythyrsa*) ou présentant un intérêt économique ou social sont épargnés (fruitiers indigènes, espèces médicinales, espèces ligneuses). *Terminalia superba*, *Pycanthus angolensis* sont ainsi des espèces conservées pour leur bois alors que *Tetrapleura tetraptera*, *Ricinodendron heudelotii*, *Irvingia grandiflora*, *Klainedoxa gabonensis* sont des espèces conservées pour leur production de graines condimentaires ou protéagineuses.

Dès que les conditions climatiques le permettent, les broussailles et les arbres abattus sont brûlés. En début de saison des pluies, la parcelle est mise en culture avec du concombre (*Cucumis mani*) auquel sont mélangés quelques plants de bananier plantain (*Musa acuminata*), macabo (*Xanthosoma sagittifolium*) et manioc (*Manihot esculenta*).

¹⁸ A l'époque, le propriétaire de la première cacaoyère installée à Zima ne vend par exemple que 4 à 5 cabosses par personne ce qui, à raison de 20 à 30 fèves par cabosse, représente entre 100 et 150 fèves.

¹⁹ Dans la zone de Ngomedzap, la forêt (*afan*) est dénommée *afan avou* lorsque certaines espèces indicatrices de fertilité sont présentes. Elle est par contre dénommée *afan dongo* quand d'autres espèces comme *Albizia adianthifolia* indiquent une fertilité réduite.

Après la récolte du concombre et du macabo en année 1 et celle des bananiers plantains et du manioc en année 2 et 3, la parcelle est à nouveau mise en culture avec un mélange de plantes annuelles (arachide, maïs, macabo) et pluriannuelles (bananier plantain, manioc). Les fèves de cacaoyers sont alors semées avant le premier désherbage des arachides et sont enfouies à cette occasion²⁰. Les jeunes cacaoyers bénéficient ainsi des différents désherbages réalisés sur les différentes cultures annuelles et pluriannuelles cultivées en association dont les récoltes successives s'échelonnent pendant deux ans. Les agriculteurs introduisent aussi dans la parcelle différentes espèces fruitières comme le safoutier (*Dacryodes edulis*) et l'avocatier (*Persea americana*) et préservent les espèces forestières qui s'y développent spontanément.

Le semis à la volée des fèves a pour principale conséquence une augmentation de la densité des cacaoyers qui peut atteindre 3 000 plants ha⁻¹, voire davantage. Cela permet de compenser une germination aléatoire mais entraîne une concurrence entre les cacaoyers pour la lumière et les éléments minéraux. Le semis à la volée entraîne également une forte hétérogénéité spatiale des peuplements, amenant les agriculteurs à réduire la densité à certains endroits de la parcelle en transplantant à racines nues des plants pour redensifier d'autres parties de la cacaoyère.

Ces modalités de mise en place caractérisent plusieurs cacaoyères de notre réseau installées dans les années 1940, mais également plusieurs parcelles mises en place après, de 1950 à nos jours, confirmant ainsi que ce schéma d'implantation des cacaoyères sert encore aujourd'hui de référentiel pour la plupart des agriculteurs du Centre Cameroun.

L'augmentation de la quantité de semences disponibles, concomitante au bouleversement socio-économique consécutif à la colonisation, constitue le premier facteur susceptible d'expliquer le changement des modalités de mise en place des cacaoyères à partir des années 1940. L'entrée en production des premières cacaoyères installées dans les années 1920-1930, plantées à faible densité dans de bonnes conditions de développement végétatif permet aux agriculteurs de disposer d'une quantité importante de fèves et d'ensemencer ainsi de plus grandes superficies. L'adoption du semis à la volée et l'ensemencement des champs polycultureaux permettent à de nombreux agriculteurs d'atteindre cet objectif rapidement sans que cela implique de leur part d'importants moyens humains supplémentaires. La monétarisation du milieu rural, qui intervient notamment pour le paiement de la dot²¹ et le paiement de l'impôt de capitation, oblige les autochtones à planter du cacaoyer puis à accroître la superficie de leur cacaoyère pour faire face aux augmentations successives de cet impôt. La cacaoculture permet également aux autochtones d'accéder aux biens de consommation accessibles auprès des commerçants. En raison du rôle de marqueur foncier joué par le cacaoyer, les nouvelles modalités de mise en place des cacaoyères permettent aux habitants d'un même village de s'approprier rapidement de vastes étendues de forêt pour bloquer toute velléité des villages voisins de s'accaparer une partie de leur territoire, comme en témoignent de nombreuses cacaoyères installées aux limites de celui-ci, à une distance éloignée des habitations.

²⁰ Le semis à la volée des fèves et leur enfouissement lors du premier désherbage des cultures annuelles et pluriannuelles conduites en association sont généralement réalisés par les femmes. Ayant ainsi contribué à la mise en place de la cacaoyère, ces dernières disposent alors d'un argument de poids pour que leurs époux s'acquittent plus rapidement du paiement de leur dot.

²¹ Dans la zone de Ngomedzap, pour contrer la tendance grandissante de leurs fidèles à accroître le nombre de leurs épouses grâce à l'argent de la vente du cacao, de nombreux missionnaires n'hésitent pas à l'époque à affirmer lors des prêches que l'apparition de la pourriture brune des cabosses (*bibolo*) est un châtement divin destiné à les punir pour leur polygamie excessive.

A partir des années 1970, le renforcement de l'encadrement des agriculteurs, entraîne cependant l'apparition de nouvelles modalités de mise en place des cacaoyères.

Le modèle technique diffusé par la Sodecao implique en effet que l'agriculteur réalise, avant la mise en place de sa cacaoyère, une défriche forestière presque totale afin d'éliminer les arbres trop volumineux, antagonistes aux cacaoyers ou en surnombre pour ne conserver qu'une dizaine d'arbres à l'hectare destinés à procurer un ombrage léger aux jeunes cacaoyers. Le brûlis est interdit ce qui entraîne l'impossibilité de mettre en place des cultures annuelles ou pluriannuelles préalablement à l'installation des cacaoyers. Seule la culture du bananier plantain est tolérée afin de fournir un ombrage temporaire aux jeunes cacaoyers. Avec les distributions à grande échelle de semences de cacaoyers hybrides, les agriculteurs ont également accès à du matériel végétal amélioré qui suppose l'établissement de pépinières où les cacaoyers sont élevés dans des sachets en polyéthylène. Ce modèle suppose la mise en place des cacaoyers après avoir réalisé au préalable un piquetage (orientation des lignes nord-sud) et une trouaison. La densité des cacaoyers doit être de 1 600 plants ha⁻¹. La Sodecao s'engage par ailleurs à fournir de plants de certaines espèces destinées à être plantés en association avec les cacaoyers telles que *Voacanga africana* (Obotan) et *Terminalia superba* (Fraké).

Dans la zone de transition forêt-savane de Bokito, on observe cependant que le semis direct en poquets demeure la modalité de mise en place dominante des peuplements cacaoyers et ce, dès le début de la diffusion de la cacaoculture dans cette zone, aux années 1970. Quel que soit le précédent de végétation, galerie forestière ou savane, aucune cacaoyère n'est mise en place en procédant au semis des fèves à la volée. Si la faible disponibilité en semences peut expliquer l'adoption du semis direct par les agriculteurs lors de la mise en place des premières cacaoyères dans les années 1940, d'autres facteurs d'ordre agronomique expliquent le maintien de cette modalité de mise en place.

D'une part, lorsque les cacaoyères sont créées dans des galeries forestières, l'agriculteur réalise tout d'abord une défriche forestière partielle qui vise à éliminer les arbres antagonistes aux cacaoyers et à conserver les essences présentant un intérêt (bois d'œuvre, ombrage de tête pour les cacaoyers, fourniture de produits médicinaux). Puis, avant d'installer le peuplement cacaoyer, l'agriculteur plante généralement des bananiers plantain (*Musa acuminata*) et du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*), deux espèces pouvant se développer sous ombrage. Mais le développement de ces deux cultures n'exige pas de procéder à un entretien du sol aussi rapidement que dans le cas de l'arachide dont le premier désherbage permet, dans les zones forestières, l'enfouissement des fèves semées à la volée. Ensuite, des espèces fruitières comme le safoutier (*Dacryodes edulis*), l'avocatier (*Persea americana*), l'oranger (*Citrus sinensis*) sont introduites dans la parcelle. Dans le même temps, l'agriculteur conserve certaines espèces comme le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) qui peuvent s'y développer spontanément.

D'autre part, lorsque les cacaoyères sont créées en savane, quelle que soit la stratégie de contrôle d'*Imperata cylindrica* (chapitre 2), le semis à la volée s'avère inadapté. Quand l'introduction des cacaoyers dans la parcelle intervient après avoir contrôlé *Imperata cylindrica* par un semis de palmiers à huile à haute densité, il est plus aisé pour les agriculteurs de précéder par un semis direct en plaçant deux à trois fèves dans un poquet afin de suppléer aux éventuelles pertes liées à la non germination des graines.

Quand l'introduction des cacaoyers dans le système de culture intervient après avoir contrôlé *Imperata cylindrica* en cultivant des espèces annuelles, les hautes densités de cacaoyers liées au semis à la volée sont incompatibles avec la succession culturale (arachide/maïs et concombre/maïs) renouvelée deux à trois ans.

En conséquence, les structures initiales des cacaoyères installées en zone de transition forêt-savane, en termes de densité des cacaoyers et de composition floristique sont différentes des structures des cacaoyères installées dans les zones forestières. Les précédents de végétation et les cycles de cultures annuelles et pluriannuelles expliquent en grande partie les différences dans les modalités de mise en place des cacaoyères observées entre les zones forestières de Zima et de Ngomedzap et la zone de transition forêt-savane de Bokito jusqu'à la fin des années 1960. En termes de densité, la plupart des cacaoyères sont installées à des densités inférieures à celles obtenues par le semis à la volée : elles sont généralement de l'ordre de 1 100-1 200 plants ha^{-1} comme en témoignent plusieurs parcelles installées dans les années 1950-1960.

A partir des années 1970, à l'instar de ce qui est observé dans les zones forestières de Zima et de Ngomedzap, les agriculteurs de la zone de transition forêt-savane de Bokito, où intervient également la Sodecao, ont accès à du matériel végétal amélioré et au modèle technique qu'elle recommande.

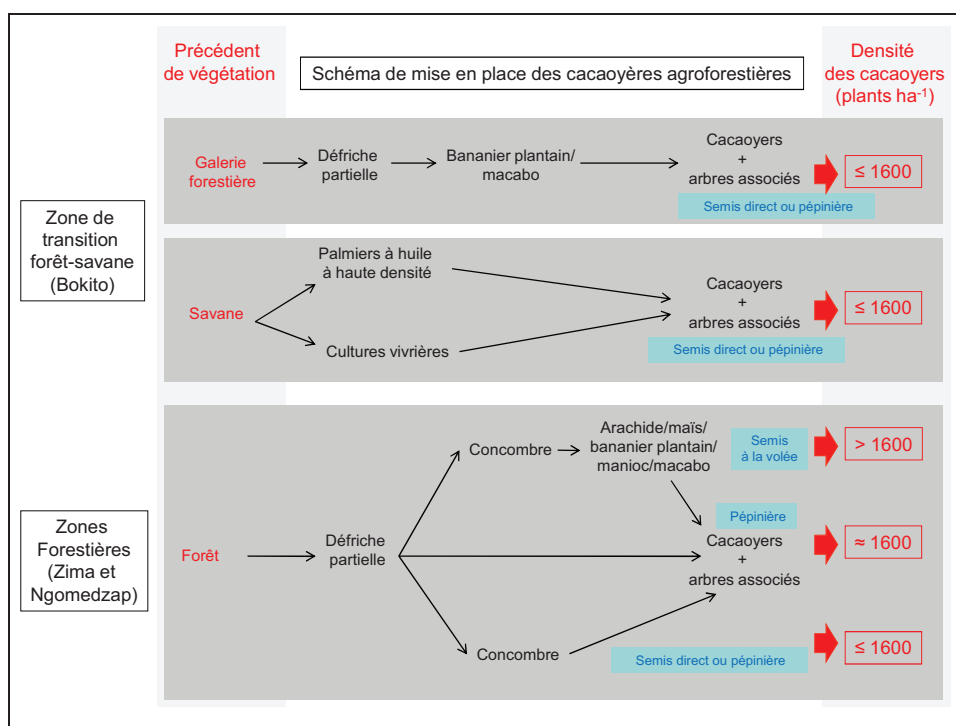
Quelle que soit la zone considérée, on observe cependant que les modalités de mise en place des cacaoyers selon le modèle technique de la Sodecao sont en fait diversement respectées. De nombreux agriculteurs suivent les recommandations de la Sodecao mais ne reçoivent pas les espèces forestières recommandées, comme en témoignent deux parcelles de notre réseau d'observation créées en 1986 où les peuplements associés aux cacaoyers sont principalement constitués d'espèces préservées lors de l'abattage. Ailleurs, où les agriculteurs reçoivent des plants, le peuplement associé dominant est constitué de *Terminalia superba* à raison de 270 plants ha^{-1} , auxquels s'ajoutent quelques arbres forestiers conservés lors de l'abattage de la forêt et quelques arbres fruitiers introduits ensuite par l'agriculteur. Dans de nombreux cas, les agriculteurs optent seulement pour la transplantation de cacaoyers élevés en pépinière et le respect de la densité de 1 600 plants ha^{-1} .

Dans le même temps, de nombreux agriculteurs n'adoptent pas le modèle technique recommandé à l'époque. Ils optent pour une défriche forestière partielle, la mise en place de cultures annuelles et pluriannuelles et le semis à la volée des fèves de cacaoyers, du type Amelonado. La densité des cacaoyers est alors supérieure à celle recommandée par la Sodecao : entre 2 000 et 2 350 plants ha^{-1} au lieu de 1 600 plants ha^{-1} . Dans d'autres cas, les agriculteurs installent les peuplements cacaoyers en transplantant de jeunes plants élevés dans des pépinières en pleine terre après avoir modifié le cycle cultural des espèces annuelles et des espèces pluriannuelles. Après défriche-brûlis, la parcelle est mise en culture avec du concombre auquel sont mélangés quelques plants de bananiers plantain, macabo et manioc. Mais après la récolte de ces trois espèces, l'agriculteur installe directement les cacaoyers en semant les fèves en poquets. Différentes espèces fruitières sont ensuite introduites dans le système et certaines espèces forestières qui s'y développent spontanément sont conservées.

Comme on le constate, des années 1940 aux années 1970, les modalités de mise en place des cacaoyères demeurent donc globalement homogènes et varient peu, exception faite des variations régionales que nous avons évoquées : semis à la volée dans les zones forestières et semis en poquets dans la zone de transition forêt-savane. Mais à partir des années 1970, l'adoption par les agriculteurs, totalement ou en partie, du modèle technique recommandé par les organismes d'encadrement du milieu rural, et en particulier par la Sodecao, aboutit à une diversité de situations.

Les précédents de végétation, différents selon les zones d'étude, et les différentes modalités de mise en place adoptées par les agriculteurs entraînent de fortes variations dans la structure initiale des cacaoyères agroforestières, notamment en termes de densité des cacaoyers (figure 4). A partir du seuil de 1 600 cacaoyers ha^{-1} qui correspond à la norme technique recommandée par la recherche agronomique, on peut ainsi distinguer différentes pratiques d'installation des cacaoyères qui aboutissent à des densités supérieures à ce seuil ou au contraire inférieures.

Figure 4 : Les différentes modalités d'installation des cacaoyères depuis les années 1970 en fonction des zones d'étude et leur impact sur la densité des peuplements cacaoyers.



3.1.2.2. Des modalités de gestion des cacaoyers adultes et des peuplements associés qui évoluent au cours du temps

Jusqu'à la fin des années 1960, la conduite des cacaoyères installées à partir des années 1920-1930, évolue peu malgré les actions de démonstration mises en place par les dispositifs d'encadrement qui se succèdent (Sem, Semac, Semcentre). Après la mise en place des cacaoyères, les interventions des agriculteurs se réduisent généralement à un ou deux désherbages par an et les premiers traitements contre la pourriture brune des cabosses sont réalisés à la fin des années 1950.

A partir des années 1970, le renforcement de l'encadrement des agriculteurs fait cependant évoluer les modalités de gestion des cacaoyères. Dans les cacaoyères adultes mises en place selon le modèle technique préconisé par la Sodecao, l'entretien du sol est réalisé deux fois par an, accompagné d'une taille des cacaoyers (égourmandage, taille de formation). La lutte contre la pourriture brune des cabosses est à la fois agronomique (récolte sanitaire) et chimique (quatre à cinq traitements avec un pulvérisateur, de fin août à fin octobre, voire davantage si nécessaire).

Globalement, les agriculteurs adoptent les recommandations techniques de la Sodecao mais généralement en les adaptant, comme en témoignent de nombreuses cacaoyères de notre réseau d'observation. Une grande partie des semences sélectionnées distribuées aux agriculteurs servent ainsi à redensifier les anciennes cacaoyères. Beaucoup d'agriculteurs adoptent également les techniques de réhabilitation des cacaoyères âgées mais en les adaptant en fonction de leurs logiques techniques. Ils procèdent ainsi au recépage des cacaoyers âgés après avoir laissé se développer un ou plusieurs rejets, et non avant, ce qui limite les risques en cas d'échec. La réduction de l'ombrage dans les anciennes cacaoyères, par annelation des arbres en surnombre est un message technique globalement adopté. Mais l'introduction d'arbres fruitiers (safoutiers, avocatiers, etc.) ou la conservation d'arbres forestiers spontanés pour supprimer les trous de lumière sont préférées à l'introduction d'espèces à croissance plus rapide comme *Cassia spectabilis*.

Les agriculteurs intègrent également la nécessité de lutter contre la pourriture brune des cabosses par des traitements chimiques réguliers dont ils adaptent cependant les modalités (chapitre 1). Ce n'est pas le cas de la lutte contre les mirides que les pouvoirs publics prennent en charge, le risque de telles actions étant souligné dès le début des années 1960, « *la substitution de l'Etat au planteur, si elle peut paraître nécessaire en cas de grave épiphytie, peut être un danger : le planteur s'habitue à ce qu'on le remplace sur le lieu de son travail, ce qui n'est pas un facteur d'évolution. Un effort d'encadrement intense pour faire entrer la lutte phytosanitaire dans la pratique individuelle courante doit être fait parallèlement à l'action gouvernementale directe ... le traitement individuel effectué par tous est bien évidemment le seul moyen vraiment efficace de lutter contre un parasite* » (Muller, 1962).

3.2. Les cacaoyères : des histoires culturelles variées

3.2.1. Une diversité d'histoires culturelles qui impactent différemment la structure des cacaoyères adultes

La reconstitution *a posteriori* des pratiques d'installation et de conduite des cacaoyères agroforestières montre une diversité d'histoires culturelles qui se caractérisent par plus ou moins de continuité au cours du temps.

3.2.1.1. Des trajectoires de conduite continues dans le temps

Ce type de trajectoire de conduite caractérise la plupart des cacaoyères mises en place par les agriculteurs qui les gèrent actuellement. Il s'agit généralement de parcelles jeunes qui entrent en production, et de parcelles adultes âgées de moins de 40 ans.

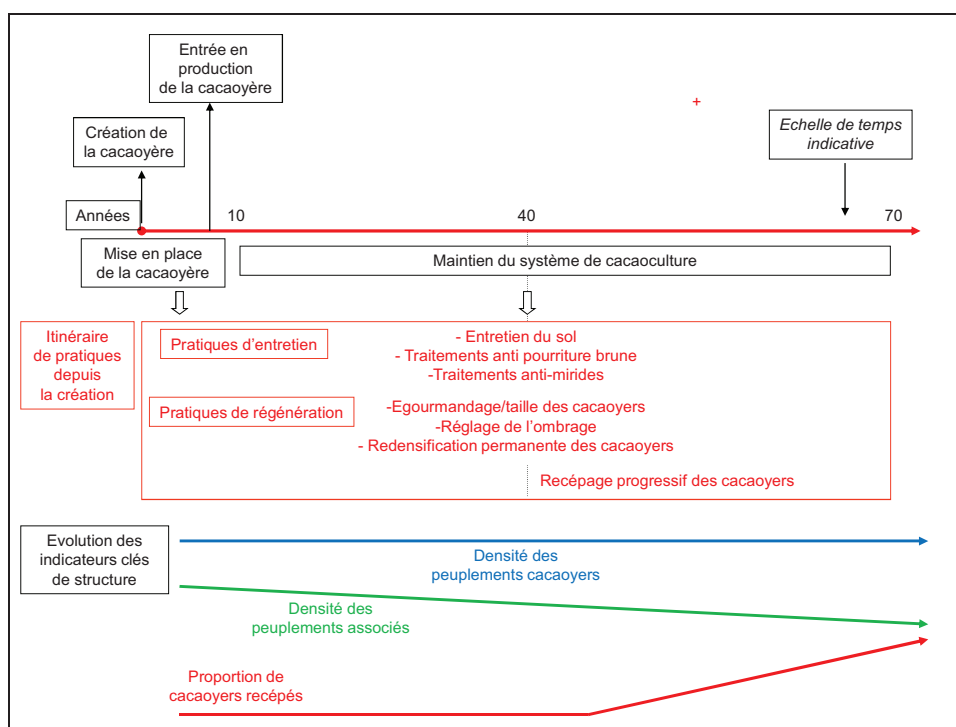
Certaines anciennes cacaoyères, qui ne sont cependant plus gérées par les agriculteurs qui les ont installées, sont aussi caractérisées par cette trajectoire de conduite.

Qu'il s'agisse des zones forestières de Zima et de Ngomedzap, ou de la zone de transition forêt-savane de Bokito, on observe que la phase de mise en place de la cacaoyère, quel que soit le précédent de végétation, est suivie d'une phase de production au cours de laquelle la conduite de la cacaoyère est caractérisée par une continuité à la fois dans les pratiques de production et dans les pratiques d'entretien du système (chapitre 1). Le réglage de l'ombrage est permanent et l'agriculteur intervient en éliminant ponctuellement les arbres en surnombre en cas d'ombrage trop dense qui tend à favoriser la pourriture brune des cabosses et à réduire la productivité des cacaoyers, ou au contraire, en introduisant à nouveau des arbres dans le système ou en transplantant certains individus qui s'y développent spontanément en cas d'ombrage insuffisant qui tend à favoriser les pullulations de mirides contre lesquelles les agriculteurs luttent en procédant à des traitements phytosanitaires réguliers.

En règle générale, les agriculteurs veillent à maintenir un ombrage favorable au développement des cacaoyers. Mais ils compensent la croissance des arbres associés par l'élimination des individus en surnombre, par ceinturage pour entraîner leur dépérissement progressif et éviter les dégâts de chute d'arbres. La redensification du peuplement cacaoyer est également quasi-permanente afin de compenser les éventuelles mortalités. Dans de rares cas, l'agriculteur peut décider de recéper un cacaoyer mal formé afin de lui redonner une architecture adaptée. Avec l'ancienneté de la cacaoyère, les cacaoyers âgés devenus improductifs sont progressivement recépés au cas par cas afin de renouveler leur couronne. Cette opération est généralement décidée à partir de plusieurs indicateurs qui suggèrent à l'agriculteur le déclin du cacaoyer (présence de mousses ou de chancres sur le tronc, écorce craquelée, défoliation de la couronne, présence de bois mort). L'évolution de la production dans le temps, sur plusieurs années, est également un critère qui entre en jeu : si le nombre de cabosses porté par l'arbre diminue, le rajeunissement est décidé. Le tronc initial est éliminé quand le rejet de substitution commence à porter des fleurs ou quelques cabosses. Le remplacement du cacaoyer par un autre plant est toutefois préféré à son rajeunissement quand l'agriculteur constate que le dépérissement est lié à une maladie qui risque d'hypothéquer également le développement du rejet qui sera conservé pour remplacer le tronc initial. Cette option est également préférée au rajeunissement quand l'agriculteur constate que le cacaoyer émet peu ou pas de rejets dont le développement lui permettrait de renouveler le tronc initial.

Au cours du temps, la structure initiale de la cacaoyère évolue naturellement en fonction de l'évolution écophysologique des espèces en présence et en fonction des pratiques de gestion de ces évolutions (figure 5). Dans la trajectoire reconstituée des états structuraux, on observe que, globalement, la densité des cacaoyers est demeurée stable en raison de la redensification permanente des peuplements cacaoyers qui entraîne l'abaissement de l'âge moyen des cacaoyers (chapitre 1). Dans le même temps, la densité des espèces associées diminue au cours du temps avec l'ancienneté des cacaoyères suite à l'élimination des arbres en surnombre (chapitres 2 et 4). Le recépage des cacaoyers sénescents modifie le profil architectural du peuplement cacaoyer où le nombre de cacaoyers recépés augmente dans les cacaoyères âgées de plus de 40 ans (chapitres 1 et 4).

Figure 5 : Schéma d'une trajectoire de conduite continue d'une cacaoyère agroforestière et impact sur sa structure.



3.2.1.2. Des ruptures dans la conduite des cacaoyères

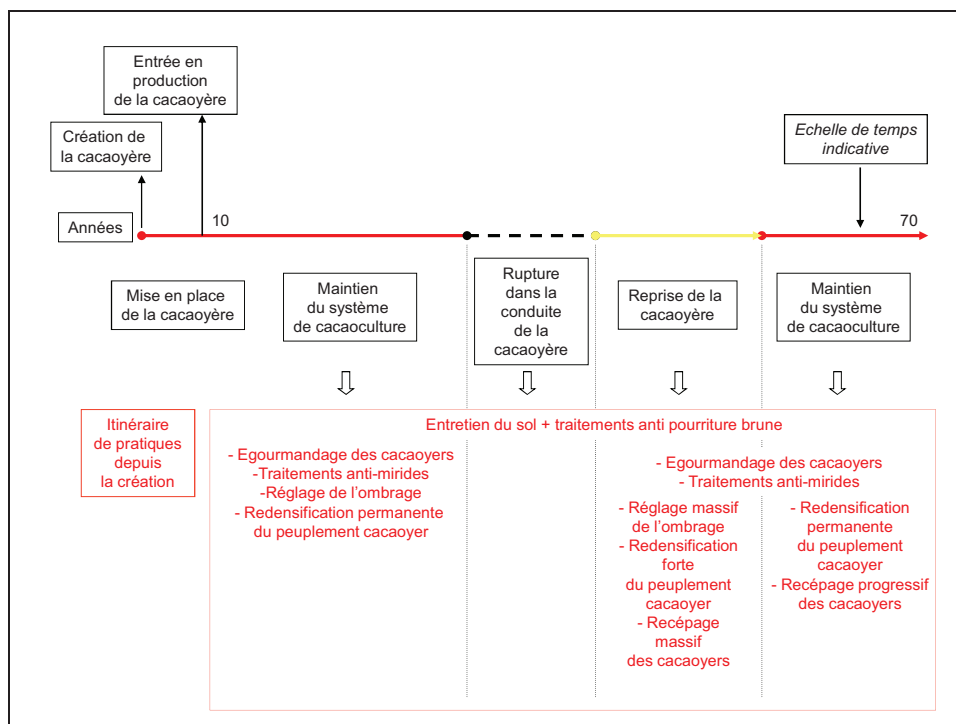
Dans de nombreux cas, après la phase de mise en place de la cacaoyère, suivie d'une phase de production plus ou moins longue, la conduite de la cacaoyère est caractérisée par une ou plusieurs phases de rupture, d'une durée variable, qui se traduisent par une gestion *a minima* par l'agriculteur²² (figure 6).

Au cours de cette phase, on observe que certaines pratiques d'entretien (égourmandage des cacaoyers, lutte contre les mirides) et les pratiques de régénération de la cacaoyère (redensification du peuplement cacaoyer, recépage des cacaoyers sénescents, réglage de l'ombrage) ne sont plus effectuées. Seuls sont réalisés l'entretien du sol et la lutte contre la pourriture brune des cabosses. Après quelques années, si la cacaoyère est reprise, une phase de réhabilitation succède alors à la phase de gestion *a minima* de la cacaoyère. La durée de la rupture dans la conduite de la cacaoyère ne doit pas cependant excéder une dizaine d'années. Au-delà, les agriculteurs considèrent en effet que la parcelle est abandonnée en raison d'une part, des fortes mortalités qui surviennent dans les peuplements cacaoyers et d'autre part, de l'évolution sub-naturelle du système en raison de l'arrêt de la gestion du peuplement cacaoyer et des peuplements associés²³.

²² Les agriculteurs emploient l'expression « gérer les cabosses » pour caractériser la conduite *a minima* d'une cacaoyère.

²³ A ce stade, les agriculteurs n'emploient d'ailleurs plus le terme « cacaoyère » mais le terme « forêt ».

Figure 6 : Schéma d'une trajectoire de conduite d'une cacaoyère discontinue avec une phase de rupture.

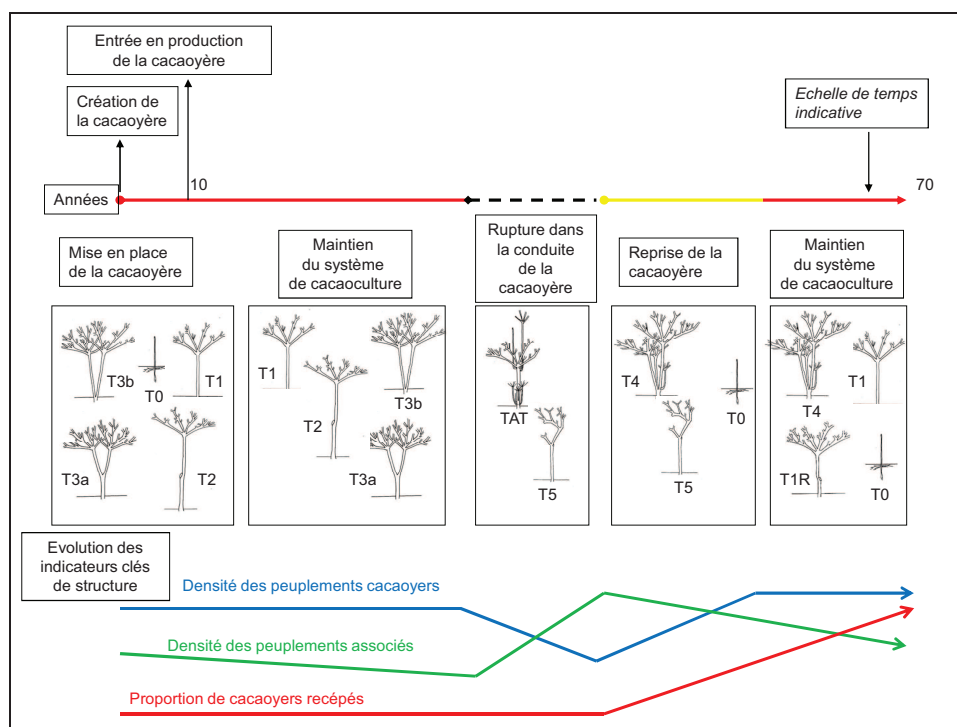


Lors de la reprise de la cacaoyère, le processus de réhabilitation est d'autant plus massif que la durée de la phase de rupture dans la conduite de la cacaoyère a été longue. Ce processus se traduit principalement par une reprise des pratiques de régénération (réglage de l'ombrage, taille des cacaoyers) afin de remettre en état le peuplement cacaoyer et les peuplements associés. La densité des peuplements associés, qui avait eu tendance à augmenter lors de la phase de rupture, est à nouveau réduite par l'agriculteur. Le peuplement cacaoyer fait également l'objet d'une redensification massive afin de compenser les mortalités occasionnées par la rupture dans la conduite de la cacaoyère. Dans le même temps, les cacaoyers survivants sont régénérés afin de reconstituer leur appareil productif. La proportion de cacaoyers recépés au sein du système augmente donc fortement.

Ce type de trajectoire de conduite, où quatre phases bien distinctes se succèdent, caractérise la plupart des cacaoyères âgées aujourd'hui de plus de 40 ans qui ne sont plus gérées par les agriculteurs qui les ont créées.

Ces différentes interventions culturelles modifient fortement la structure du peuplement cacaoyer et celle des peuplements associés (figure 7). Le profil architectural d'un peuplement cacaoyer notamment, en tant qu'indicateur de son évolution (chapitre 4), évolue ainsi fortement en fonction des quatre phases qui caractérisent la trajectoire de la cacaoyère.

Figure 7 : Exemple d'évolution du profil architectural* d'un peuplement cacaoyer et des indicateurs clé de la structure du système dans le cas d'une trajectoire de cacaoyère discontinue.



* Le type TAT, non évoqué jusqu'à présent, est représentatif de cacaoyers évoluant de façon sub-naturelle lorsque les rejets orthotopes ne sont plus éliminés par l'agriculteur

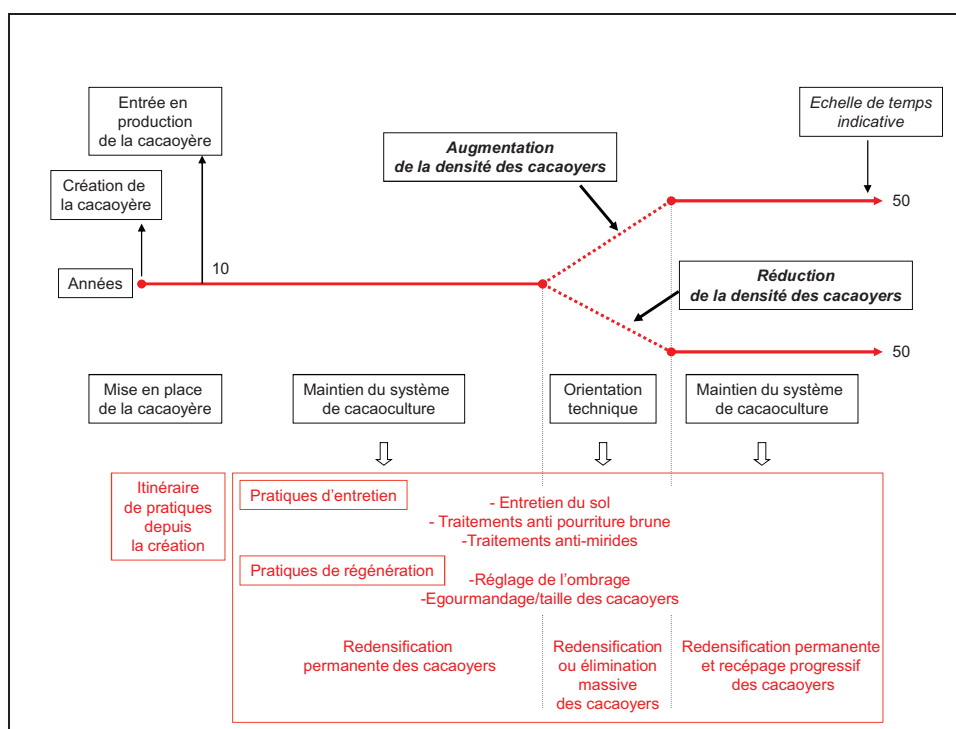
3.2.1.3. Des réorientations techniques majeures de conduite sans rupture d'entretien

En dehors de toute phase de rupture, les trajectoires de conduite des cacaoyères peuvent aussi faire l'objet d'réorientations techniques plus ou moins importantes au cours du temps. La phase de mise en place de la cacaoyère est suivie d'une phase de production plus ou moins longue qui demeure caractérisée par une continuité à la fois dans les pratiques d'entretien et dans les pratiques de régénération du système. Les réorientations observées dans la conduite de la cacaoyère se traduisent principalement par une phase au cours de laquelle l'agriculteur réduit, ou au contraire augmente, radicalement la densité du peuplement cacaoyer. Celle-ci peut ainsi passer de 2 500 plants ha^{-1} à moins de 1 100 plants ha^{-1} après élimination par l'agriculteur d'une partie des cacaoyers. Inversement, la densité des cacaoyers peut passer de 1 300 plants ha^{-1} à plus de 2 500 plants ha^{-1} après une redensification massive du peuplement cacaoyer par l'agriculteur. Après cette phase de réorientation, une nouvelle phase de production débute sans qu'il y ait eu de rupture dans les pratiques d'entretien et dans les pratiques de régénération du système (figure 8).

Si l'élimination des cacaoyers pour réduire leur densité est réalisée par l'abattage des individus en surnombre, les modalités de redensification massive des peuplements cacaoyers pour augmenter leur densité initiale varient au contraire selon les cas. L'agriculteur peut en effet transplanter des plants issus d'une pépinière en pleine terre ou d'une pépinière en sachets, ce qui permet d'assurer un développement plus vigoureux et plus rapide des jeunes cacaoyers.

L'agriculteur peut également semer deux à trois graines dans un poquet afin de conserver, après six à sept ans, le cacaoyer le plus vigoureux, ce qui permet de pallier l'éventuelle disparition du plant de remplacement mais hypothèque son développement végétatif en exacerbant les concurrences entre les cacaoyers plantés au même endroit.

Figure 8 : Schéma d'une trajectoire de conduite d'une cacaoyère avec réorientation technique majeure sans rupture d'entretien.



Selon les cas, la redensification peut être réalisée avec du matériel végétal Amelonado ou au contraire avec des cacaoyers hybrides. Il s'avère d'ailleurs que ces derniers sont davantage des descendances d'hybrides que les agriculteurs prélèvent sur certains cacaoyers préalablement repérés en raison de leur forte production, de leur tolérance à la pourriture brune, de la grosseur et du poids de leurs fèves. Dans la plupart des cas, les agriculteurs optent ainsi pour un panachage en associant du matériel végétal Amelonado (adapté à l'ombrage, vigoureux, « *qui dure* », mais moins productif que l'hybride) et du matériel végétal hybride (précoce, productif, mais « *qui ne dure pas* »).

Dans certains cas, la forte augmentation de la densité des cacaoyers peut être le résultat d'une redensification massive réalisée à titre préventif pour anticiper le déclin du peuplement, que les cacaoyers soient sénescents ou non, comme en témoignent deux parcelles de notre réseau situées dans la zone de transition forêt-savane de Bokito. En cas de surestimation des mortalités à venir, les remplaçants sont alors éliminés, mais dans le cas contraire, ils sont déjà en place. La redensification préventive des peuplements cacaoyers entraîne alors une augmentation provisoire de la densité des cacaoyers avant que celle-ci ne retrouve son état initial après quelques années par élimination des cacaoyers en surnombre.

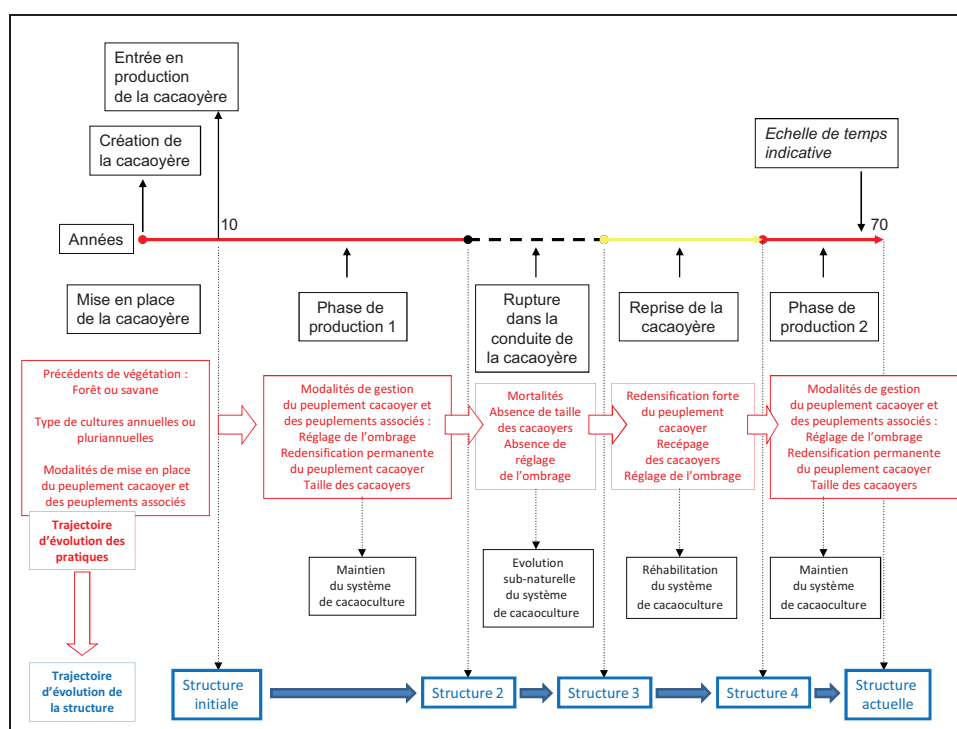
Ce type de trajectoire de conduite avec réorientation technique majeure sans phase de rupture d'entretien caractérise un certain nombre de cacaoyères âgées de plus de 40 ans mises en place par les agriculteurs qui les gèrent actuellement.

3.2.2. Bilan sur les structures de cacaoyères

3.2.2.1. Les trajectoires de conduite induisent des trajectoires d'états structuraux

Toute trajectoire de conduite, qu'elle soit continue ou non, aboutit ainsi à une succession d'états structuraux qui correspond en fait à une succession de situations culturelles différentes (figure 9).

Figure 9 : Exemple d'une succession d'états structuraux en lien avec une trajectoire de conduite discontinue avec rupture.



Cette succession montre que les structures de cacaoyères sont donc bien flexibles dans le temps.

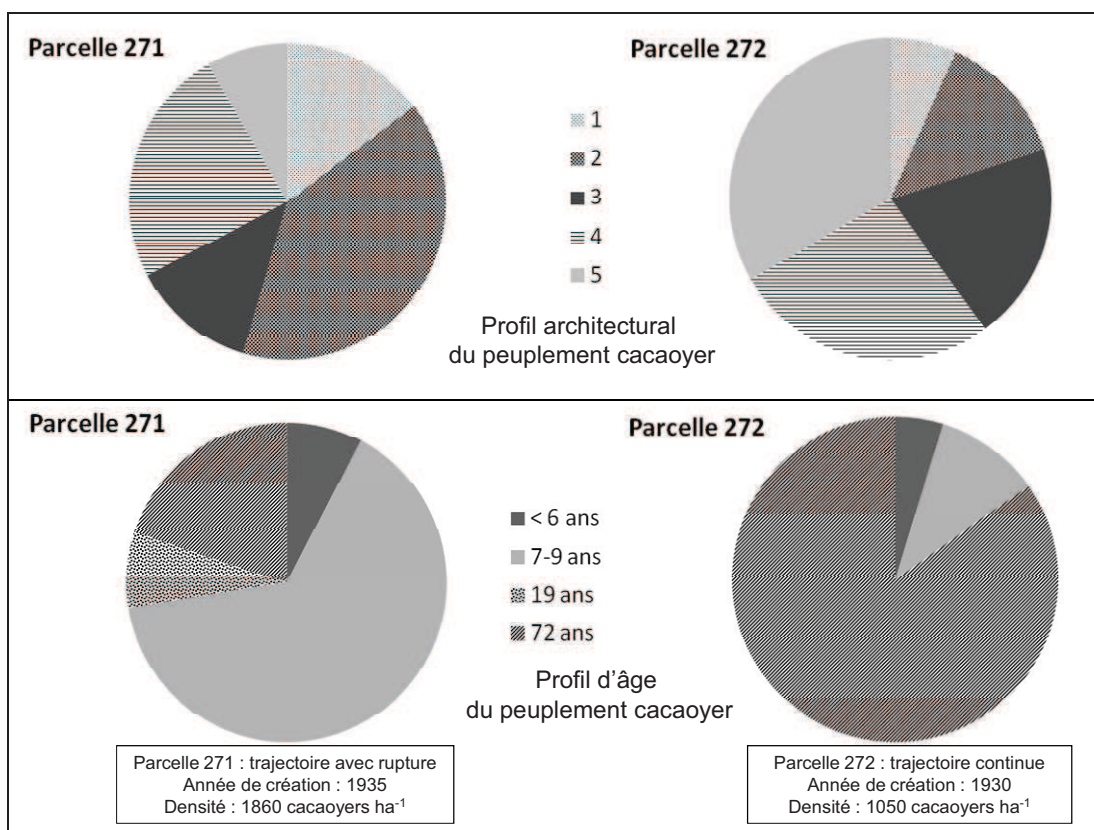
3.2.1.5. Les structures actuelles des cacaoyères sont le résultat des trajectoires de conduite

Dans les anciennes cacaoyères, des trajectoires de conduite différentes se traduisent aujourd'hui par des structures des peuplements cacaoyers différentes où peuvent se côtoyer plusieurs générations de cacaoyers à l'architecture très différente. La figure 10 illustre ainsi les répartitions par type architectural et par classe d'âge de deux peuplements cacaoyers installés dans les années 1930 à Zima.

La parcelle 271 (semis à la volée) présente une densité de 1 860 cacaoyers ha^{-1} . Sa trajectoire de conduite est caractérisée par une phase de rupture suivie en 1998 d'une phase de reprise au cours de laquelle le peuplement cacaoyer a été massivement redensifié. Les cacaoyers d'origine, âgés de 72 ans, ne représentent plus que 20 % des effectifs et le profil architectural du peuplement cacaoyer montre que 24 % des cacaoyers ont été recépés (type architectural 4).

Dans le même temps, la parcelle 272 (semis en poquets) présente une densité est de 1 050 cacaoyers ha^{-1} . Contrairement à la parcelle précédente, sa trajectoire de conduite a été continue. Le peuplement cacaoyer y a été peu redensifié : 85 % des cacaoyers sont âgés de 72 ans.

Figure 10 : Répartition par classe d'âge et par type architectural de la structure actuelle de peuplements cacaoyers de deux cacaoyères ayant connu des trajectoires de conduite différentes.



3.2.3. Les déterminants des trajectoires de conduite

Les déterminants des trajectoires de conduite des cacaoyères relèvent à la fois de l'histoire familiale de chaque agriculteur, de l'évolution du contexte socio-économique de la filière cacao dans lequel s'insère chaque cacaoyère et de l'environnement technique des agriculteurs.

3.2.3.1. Des histoires familiales contrastées

Avant ou après le décès de l'agriculteur qui a installé une cacaoyère, la continuité dans la conduite technique de celle-ci est généralement assurée quand l'héritier désigné est présent dans le village et en âge de reprendre la cacaoyère. Dans ce cas, la transmission de cette dernière d'une génération d'agriculteur à une autre ne pose pas de problème : la cacaoyère connaît une trajectoire de conduite continue, à l'exemple d'une parcelle de notre réseau, créée en 1950 et qui a été reprise en 1995 par l'exploitant actuel au décès de son père.

Par contre, lorsque le propriétaire de la cacaoyère n'est plus en mesure de la gérer lui-même et que son héritier n'est pas encore en âge de la reprendre, ou qu'il ne réside pas au village, la gestion de la cacaoyère est alors généralement confiée à une tierce personne. C'est le cas d'une parcelle créée en 1936 et confiée pendant deux ans à un métayer par le père de l'agriculteur qui la gère actuellement, jusqu'à sa transmission aux héritiers. Dans ce cas, le propriétaire de la cacaoyère partage le montant de la vente de cacao marchand avec le métayer après s'être remboursé des éventuelles dépenses qu'il a préfinancées, telles que l'achat des fongicides.

Au décès de l'agriculteur, la transmission de la cacaoyère peut aussi ne pas être immédiate si, par exemple, l'héritier est encore trop jeune pour se voir confier ce patrimoine. L'histoire des anciennes cacaoyères permet d'ailleurs de préciser les modalités de transmission du patrimoine cacaoyer. Celui-ci est soit transmis aux fils de l'exploitant après son décès, qui se le partagent, soit à un fils désigné qui le gère pour l'ensemble de la fratrie. En cas d'absence d'héritiers directs, le patrimoine cacaoyer est transmis à l'un des frères du défunt (en général le frère aîné) ou à l'un de ses neveux. Si le ou les héritiers directs sont encore trop jeunes pour reprendre le patrimoine cacaoyer, celui-ci est alors confié temporairement à un membre de la famille désigné par un conseil familial (la veuve ou l'un des frères du défunt). La veuve du défunt peut ainsi gérer le patrimoine cacaoyer elle-même ou le confier à une autre personne (locataire, métayer). Si le gérant du patrimoine cacaoyer est un des frères du défunt, ce dernier a pour obligation de partager les revenus issus de la vente de cacao marchand avec la veuve et les futurs héritiers.

Ce type de transmission caractérise plusieurs parcelles de notre réseau, comme en témoignent deux parcelles installées dans les années 1950 à Bokito qui ont ainsi été gérées par les veuves, pendant six ans pour l'une, pendant onze ans pour l'autre. Toujours à Bokito, une autre parcelle, créée en 1955, a été gérée pendant 26 ans par un des oncles de l'exploitant actuel.

La continuité de la conduite technique de la cacaoyère peut également être remise en cause lorsque l'héritier, bien que désigné et en âge de reprendre le patrimoine cacaoyer, est absent du village. C'est le cas d'une parcelle créée en 1935 à Ngomedzap par le père de l'exploitant actuel qui en a hérité en 1976. Faute de pouvoir s'en occuper en raison de ses activités professionnelles hors du village, cette cacaoyère a été gérée pendant quatre ans par la veuve jusqu'à ce qu'il rentre définitivement au village en 1980. Toujours à Ngomedzap, bien que la transmission de la cacaoyère ait eu lieu du vivant de son père, l'exploitant actuel l'a confiée à un métayer pendant six ans jusqu'à ce qu'il revienne s'installer définitivement au village en 1985.

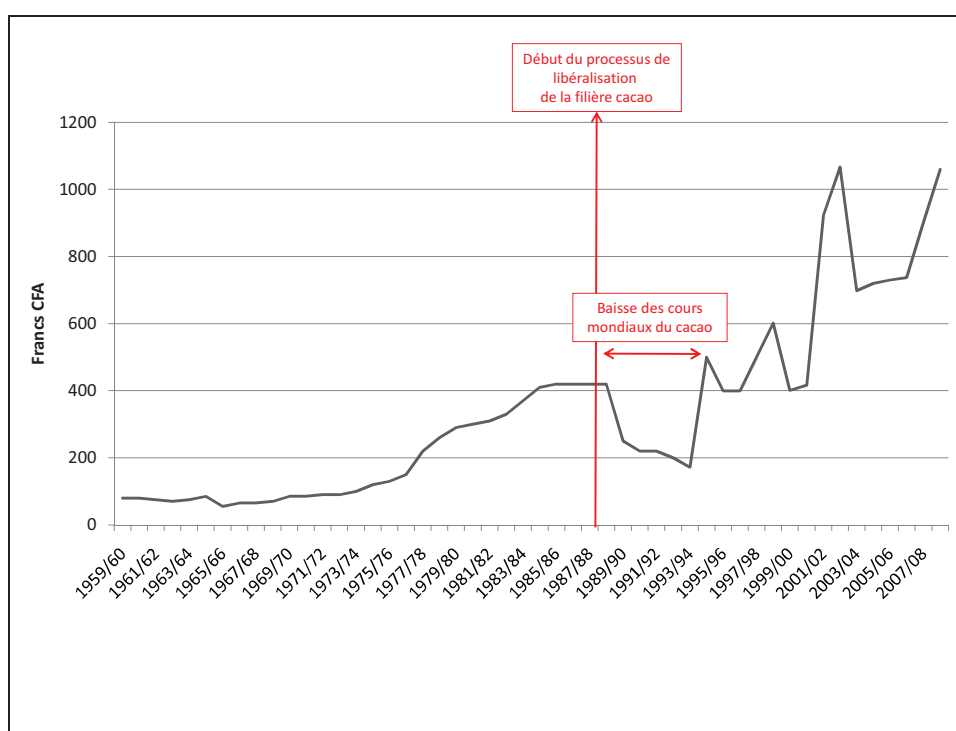
Dans la plupart des cas, la gestion du patrimoine cacaoyer par un tiers se traduit par une rupture dans la conduite technique. Dans le cas d'un métayer ou d'un oncle, cette personne n'étant pas le propriétaire de la cacaoyère, elle n'a donc pas intérêt à investir, en termes de travail, dans celle-ci notamment en ce qui concerne les pratiques de régénération qui ont un impact à moyen et long terme sur la structure du système (gestion de l'ombrage, recépage des cacaoyers, redensification, lutte anti-mirides). Seuls sont alors assurés l'entretien du sol et la lutte contre la pourriture brune des cabosses. De plus, le gestionnaire provisoire d'une cacaoyère ne peut implicitement redensifier le peuplement cacaoyer ou introduire des arbres dans la cacaoyère, par exemple pour pallier un ombrage insuffisant, en raison du rôle de marqueur foncier joué par le cacaoyer et les arbres associés. A moins d'être l'objet d'un accord préalable entre les parties, de telles pratiques aboutissent généralement, après quelques années à des revendications qui remettent alors en cause la transmission de la cacaoyère aux héritiers directs.

Dans le cas des veuves, la rupture dans la conduite de la cacaoyère est davantage le fait de leur absence de maîtrise technique pour mettre en œuvre les pratiques de régénération qui sont généralement réalisées par les hommes. La perte de technicité est alors le principal déterminant des phases de gestion *a minima* constatées dans la conduite des cacaoyères.

3.2.3.2. Un contexte socio-économique plus ou moins favorable

L'existence de phases de rupture dans la conduite de la cacaoyère est aussi liée à l'évolution du contexte socio-économique, en particulier à l'évolution du prix d'achat du cacao marchand. En effet, lorsque la transmission de la cacaoyère est concomitante à une période de baisse du prix d'achat du cacao marchand au producteur (lors de la période 1989-1995 par exemple) (figure 11), on observe que de nombreux héritiers ont retardé leur décision de revenir au village pour reprendre le patrimoine cacaoyer qui leur revenait.

Figure 11 : Evolution du prix d'achat du cacao marchand bord-champ de 1960 à 2010.



Sources : Kamdem, 2010 ; Anon, 2010

C'est le cas d'une parcelle située à Ngomedzap, dont l'exploitant actuel qui en avait héritée en 1986, n'a décidé de son retour au village qu'en 1995, une fois la remontée des prix d'achat du cacao effective. C'est également le cas d'une autre parcelle installée à Bokito qui, en 1992, a connu une phase de rupture de cinq ans immédiatement après avoir été transmise par l'exploitant actuel qui ne l'a reprise en fait qu'en 1997.

A l'inverse, dans certains cas, la concomitance entre la remontée du prix d'achat du cacao et la transmission d'une cacaoyère favorise une reprise plus rapide du patrimoine cacaoyer et permet de réduire d'autant les phases de rupture dans la conduite des cacaoyères.

C'est le cas d'une cacaoyère de Zima, dont l'exploitant actuel a hérité en 1994 au décès de son père et l'a reprise immédiatement après avoir décidé de rentrer définitivement au village en raison de la remontée du prix d'achat du cacao.

Par contre, le fait que la période de baisse des prix d'achat au producteur survienne au moment de la transmission de la cacaoyère n'entraîne pas systématiquement une rupture dans la conduite de celle-ci. C'est le cas de deux parcelles de notre réseau reprises respectivement en 1980 et 1988 par les exploitants actuels qui, malgré la déprime des prix d'achat au producteur au cours de cette période n'ont pas modifié la conduite des cacaoyères. Cette continuité dans la conduite malgré un contexte peu favorable caractérise également plusieurs cacaoyères installées avant la crise de la filière cacao par les exploitants actuels.

3.2.3.3. Le poids de l'encadrement technique de la Sodecao

Outre les facteurs d'ordre familial et économique, dans certains cas, les changements observés dans la conduite d'une cacaoyère sont aussi liés à l'encadrement technique. Cela est particulièrement vrai dans le cas des parcelles créées avant les années 1970 dont la conduite a fait l'objet d'une réorientation majeure.

De 1970 à 1990, en effet, le renforcement de l'encadrement des producteurs et en particulier la mise en place de la Sodecao, se traduit par une modification des pratiques dans certaines cacaoyères adultes caractérisées par une densité des cacaoyers est élevée, c'est-à-dire supérieure à 1 800-2 000 plants ha⁻¹. Les interventions des agriculteurs se traduisent alors principalement par une diminution de la densité des cacaoyers afin de réduire les concurrences par l'élimination des individus en surnombre, improductifs ou chétifs.

C'est le cas de deux parcelles de notre réseau, installées respectivement en 1967 et 1962 à Zima par les exploitants actuels qui, dans les années 1970, suivent les recommandations des encadreurs de la Sodecao et réduisent fortement la densité des peuplements cacaoyers. Ces deux exploitants, comme la plupart des agriculteurs, s'approprient également les pratiques de réglage de l'ombrage par élimination des arbres en surnombre afin de réduire les concurrences entre les peuplements associés et les cacaoyers mais également limiter la pression parasitaire liée à la pourriture brune des cabosses.

3.3. Les trajectoires de cacaoyères et leurs conséquences sur le rendement potentiel du peuplement cacaoyer

La conduite technique des cacaoyères agroforestières du Centre Cameroun suit donc des évolutions différentes dans le temps, ce qui induit des évolutions de structure et des états structuraux actuels différents. Ces trajectoires de structure varient selon les cas et dépendent à la fois des modalités d'installation des cacaoyères qui fixent les structures initiales, points de départ des trajectoires, et des évolutions différentes en fonction des trajectoires de conduite, continues ou non.

3.3.1. Les grands types de trajectoires de structure identifiés

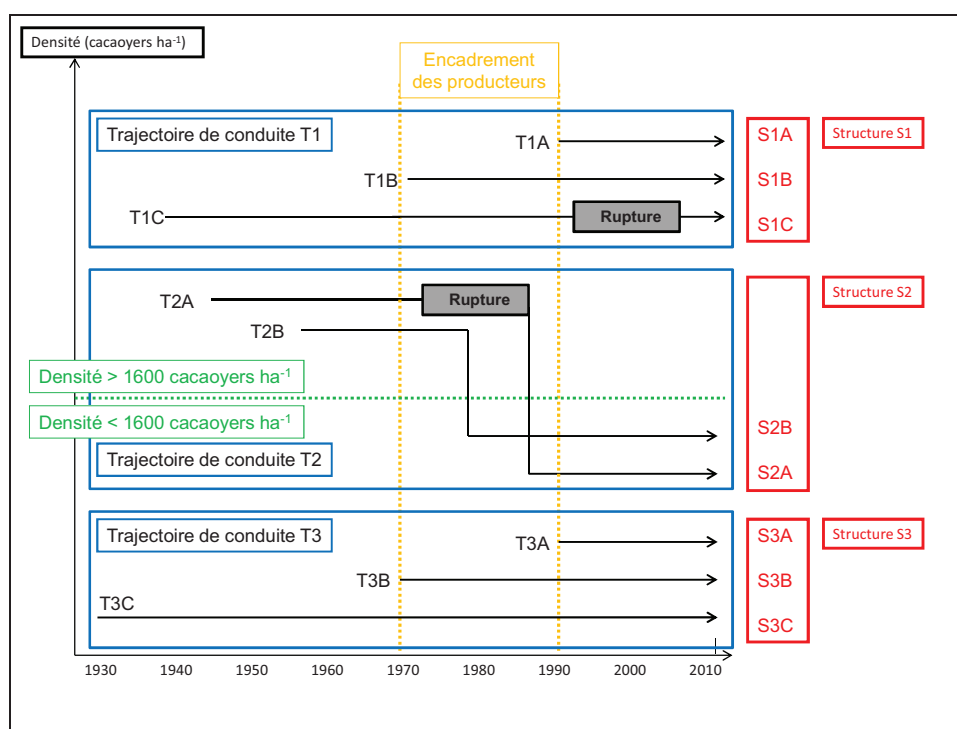
En mettant en lien les modalités d'installation des cacaoyères puis leurs trajectoires de conduite plus ou moins continues, nous définissons différentes trajectoires de structure de cacaoyères. Des différences régionales apparaissent toutefois entre les zones forestières de Zima et de Ngomedzap, où les trajectoires de structure se différencient par la densité des peuplements cacaoyers, et la zone de transition forêt-savane où les trajectoires de structure se différencient en fonction du précédent de végétation.

3.3.1.1. En zones forestières

Dans les zones forestières de Ngomedzap et de Zima, où la plupart des parcelles de notre réseau d'observation ont été installées après une défriche forestière, trois grandes trajectoires peuvent être ainsi distinguées (figure 12) :

- la trajectoire T1, qui aboutit à des structures de peuplements cacaoyers où les densités sont largement supérieures à 1 600 plants ha^{-1} (T1A et T1B), y compris après une phase de rupture (T1C) ;
- la trajectoire T2, qui correspond à des peuplements cacaoyers dont la structure a été profondément modifiée après une phase de rupture (T2A) ou non (T2B) ;
- la trajectoire T3, qui aboutit à des structures de peuplements cacaoyers où les densités sont demeurées inférieures à 1 600 plants ha^{-1} , que les parcelles aient été mises en place après la période Sodecao (T3A), au cours de celle-ci (T3B) ou avant (T3C).

Figure 12 : Principales trajectoires des cacaoyères identifiées en zones forestières, en lien avec la densité des cacaoyers.



Dans le cas de la trajectoire T1, on observe que les pratiques d'implantation des cacaoyères ont été les mêmes quelle que soit l'époque à laquelle ont été créées les cacaoyères. Qu'il s'agisse des cacaoyères mises en place après 1990 (T1A) ou entre 1975 et 1990, lors de la période d'intervention de la Sodecao (T1B), les peuplements cacaoyers ont été installés par semis à la volée dans des champs polycultureaux. Les cacaoyères installées avant la période d'intervention de la Sodecao (T1C), en général entre 1945 et 1970, ne sont plus aujourd'hui gérées par les agriculteurs qui les ont installées, mais leur ont été transmises après 1990, après la cessation d'activités de la Sodecao. Dans de nombreux cas, la conduite de ces cacaoyères a connu une phase de rupture liée à leur transmission. Lors de leur reprise, les agriculteurs n'ont pas bénéficié de l'encadrement technique de la Sodecao et ont redensifié leurs cacaoyères à l'identique.

La trajectoire T1 se caractérise par une densité des peuplements cacaoyers qui diminue au cours du temps mais qui demeure toujours supérieure à 1 600 cacaoyers ha^{-1} y compris dans les cacaoyères les plus anciennes (S1C) (tableau 3). La redensification massive des peuplements a entraîné un abaissement important de l'âge moyen des peuplements cacaoyers qui est d'environ 30 ans dans les cacaoyères les plus anciennes où la proportion de cacaoyers recépés est de 27 %. Dans le même temps, le nombre d'espèces associées aux cacaoyers reste stable, à savoir 14 espèces en moyenne par cacaoyer. La densité des arbres associés aux cacaoyers demeure toujours supérieure à 200 arbres ha^{-1} et la densité des arbres forestiers est de l'ordre de 150 arbres ha^{-1} quel que soit le stade de développement de la cacaoyer.

Tableau 3 : Structure actuelle des cacaoyères par trajectoire en zones forestières.

Variables de structure	Types de structure*							
	S1A (7)	S1B (5)	S1C (3)	S2A (2)	S2B (4)	S3A (6)	S3B (5)	S3C (8)
Densité des cacaoyers (ha^{-1})	2 836	2 283	2 032	1 258	1 115	1 327	1 402	1 285
Age moyen des cacaoyers (années)	11	25	30	43	46	6	25	42
Nombre moyen de troncs par cacaoyer	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,1	1,3	1,7
Cacaoyers recépés (%)	11,3	14,6	27,1	35,1	38,1	3,6	12	36,4
Nombre d'espèces associées	14	14	14	8	6	13	11	6
Densité des peuplements associés (ha^{-1})	280	263	207	128	125	262	200	60
Densité des arbres forestiers (ha^{-1})	146	147	153	55	25	160	144	40

* (5) = effectif de parcelles par type de structure

Dans le cas de la trajectoire T2, les pratiques d'implantation des cacaoyères ont été les mêmes que pour la trajectoire T1 mais contrairement à celle-ci, la conduite des cacaoyères a été profondément modifiée au cours du temps. La trajectoire T2A concerne des cacaoyères installées à partir des années 1930 et jusque dans les années 1960 qui ne sont plus aujourd'hui gérées par les agriculteurs qui les ont créées. Ces cacaoyères leur ont été transmises au cours de la période d'intervention de la Sodecao (1975-1990), plus rarement après, et dans la plupart des cas la trajectoire de ces cacaoyères est marquée par une phase de rupture d'une durée variable. La reprise de ces cacaoyères anciennes s'est traduite par une conduite technique et des modalités de réhabilitation qui ont été fortement influencées par l'appui technique dont ont bénéficié les agriculteurs à cette époque : panachage avec matériel végétal amélioré, redensification des peuplements en respectant la densité recommandée par la Sodecao, élimination des arbres d'ombrage en surnombre, taille de régénération des cacaoyers. La trajectoire T2B concerne des cacaoyères plus jeunes, installées à partir des années 1950 par les agriculteurs qui les gèrent actuellement. Contrairement à la trajectoire T2A, ces cacaoyères n'ont généralement pas connu de phase de rupture liée à leur transmission. A partir de 1975, l'impact de l'encadrement des agriculteurs s'est notamment traduit par une réduction de la densité des cacaoyers et des arbres d'ombrage afin de respecter les densités recommandées à l'époque.

En conséquence, la trajectoire T2 aboutit à une structure S2 caractérisée par une densité inférieure à 1 600 cacaoyers ha^{-1} (tableau 3). Ces peuplements ayant été peu redensifiés, leur âge moyen est supérieur à celui des peuplements gérés selon la conduite T1C : 42 ans et 43 ans contre 30 ans. La proportion de cacaoyers recépés y est également supérieure : 35 % et 38 % contre 27 %. Dans le même temps, on observe que six à huit espèces sont associées aux cacaoyers, pour une densité des arbres associés de l'ordre de 125-128 arbres ha^{-1} et une densité des arbres forestiers qui est de 55 arbres ha^{-1} pour la structure S2A et 25 arbres ha^{-1} pour la structure S2B.

Dans le cas de la trajectoire T3, les pratiques d'implantation ont été différentes des trajectoires T1 et T2 précédemment décrites car il s'agit de peuplements cacaoyers installés à partir de plants semés en poquets pour les parcelles les plus anciennes ou issus de pépinières pour les parcelles des plus récentes. La trajectoire T3A concerne des cacaoyères installées à partir de 1990. Les agriculteurs ont toutefois respecté certaines recommandations techniques comme la densité de 1 600 cacaoyers ha^{-1} . La trajectoire T3B concerne des cacaoyères installées entre 1975 et 1990, lors de la période d'intervention de la Sodecao. Les agriculteurs ont donc été encadrés. La trajectoire T3C concerne des cacaoyères installées dans les années 1930 qui ne sont plus aujourd'hui gérées par les agriculteurs qui les ont créées. Il s'agit de cacaoyères installées dans des cours agroforestières dont la conduite a été, dans la majorité des cas, relativement continue jusqu'à aujourd'hui.

La trajectoire de conduite T3 aboutit par conséquent à une structure S3 caractérisée par une densité inférieure à 1 600 cacaoyers ha^{-1} qui demeure relativement stable au cours du temps (tableau 3). Dans les parcelles les plus anciennes (S3C), les peuplements cacaoyers ayant été peu redensifiés, leur âge moyen est supérieur à celui des peuplements gérés selon la conduite T1C : 42 ans contre 30 ans. La proportion de cacaoyers recépés y est également supérieure : 36 % contre 27 %. Dans le même temps, dans le cas de S3A et S3B, le nombre d'espèces associées aux cacaoyers est de l'ordre 11-13 par parcelle, pour une densité d'arbres associés de 200-262 arbres ha^{-1} et une densité de 144-160 arbres forestiers ha^{-1} .

La structure S3C, qui correspond à des cacaoyères mises en place dans des cours agroforestières, est caractérisée par un nombre d'espèces associées aux cacaoyers et des densités de peuplements associés moins élevés.

Pour des cacaoyères installées à peu près à la même époque, on constate donc que des structures actuelles différentes sont le résultat de trajectoires différentes, à l'instar de ce qui est observé pour les structures S1C et S3C issues respectivement des trajectoires de conduites T1C et T3C. Il en est de même pour les structures S1B et S3B issues respectivement des trajectoires T1B et T3B. A l'inverse, pour les cacaoyères les plus anciennes, des structures similaires telles que S2A, S2B et S3C, peuvent être le résultat de trajectoires très différentes.

3.3.1.2. En zone de transition forêt-savane

Dans la zone de transition forêt-savane de Bokito, les précédents de végétation qui caractérisent les parcelles de notre réseau d'observation sont de deux types : galerie forestière ou savane. Quel que soit le précédent, on observe que globalement la densité des peuplements cacaoyers demeure toujours inférieure à 1 600 cacaoyers ha⁻¹. Parfois, en cas de redensification massive du peuplement, la densité peut être provisoirement supérieure à 1 600 cacaoyers ha⁻¹.

Pour les deux types de précédents, les trajectoires des parcelles sont similaires et deux grands types de trajectoires de conduite peuvent être distingués (figure 13) :

- la trajectoire T1 concerne les cacaoyères créées sur savane. Les stades de développement T1A à T1C sont caractérisés par une densité des cacaoyers qui a tendance à diminuer avec l'ancienneté des cacaoyères alors que dans le même temps, le nombre moyen de troncs par cacaoyer et le taux de cacaoyers recépés augmentent (tableau 4). Une dizaine d'espèces sont associées en moyenne aux cacaoyers et la densité des peuplements associés tend à diminuer avec l'ancienneté des cacaoyères. Cette trajectoire T1 connaît une variante (T1C') quand une ancienne cacaoyère est massivement redensifiée après une phase de rupture. La densité des cacaoyers est alors supérieure à 1 600 plants ha⁻¹.
- la trajectoire T2 concerne les cacaoyères installées dans une galerie forestière. L'évolution de la densité des peuplements cacaoyers dans les stades T2A à T2D est similaire à celle des cacaoyères sur savane. La trajectoire T2 se différencie toutefois de la trajectoire T1 par une densité des peuplements associés moins élevée (tableau 4). La trajectoire T2 connaît la même variante que la trajectoire T1 lorsqu'une ancienne cacaoyère est massivement redensifiée (T2D').

Figure 13 : Principales trajectoires des cacaoyères identifiées dans la zone de transition forêt-savane.

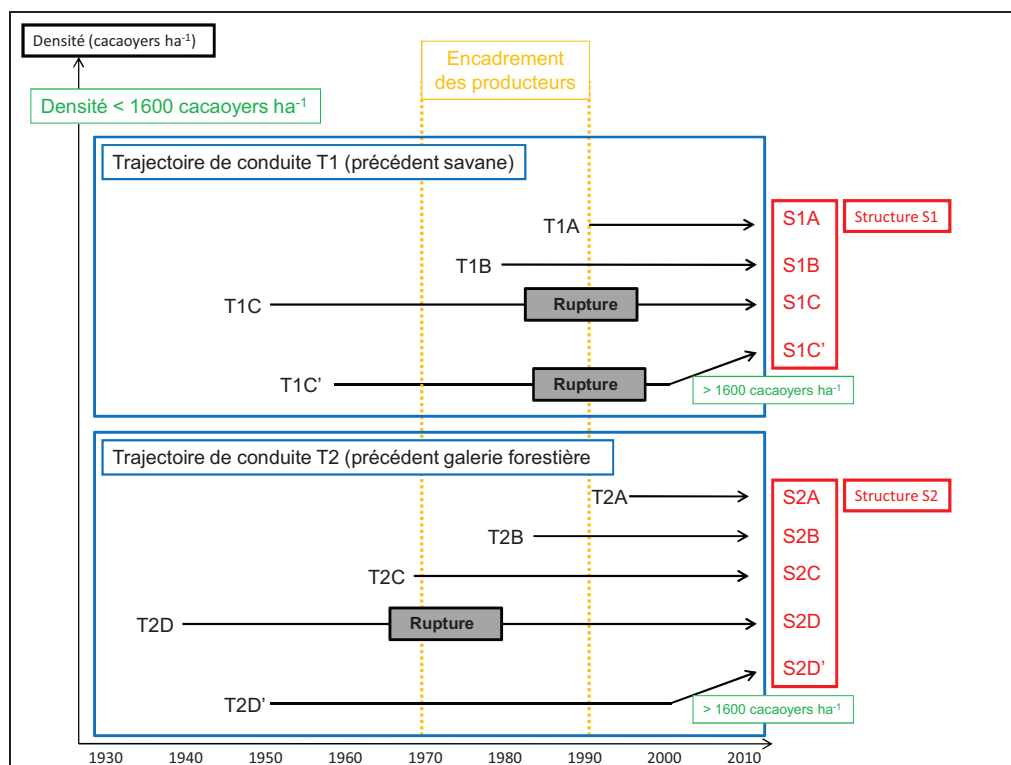


Tableau 4 : Structure actuelle des cacaoyères par trajectoire en zone de transition forêt-savane.

Variables de structure	Types de structure*				
Précédent savane	S1A	S1B	S1C	S1C'	
	(5)	(2)	(2)	(1)	
Densité des cacaoyers (ha ⁻¹)	1 480	1 260	1 090	2 700	
Age moyen des cacaoyers (années)	11	16	33	20	
Nombre moyen de troncs par cacaoyer	1,1	1,2	1,5	1,2	
Cacaoyers recépés (%)	2,7	4,9	35,1	9,2	
Nombre d'espèces associées	10	8	10	9	
Densité des peuplements associés (ha ⁻¹)	315	210	210	270	
Densité des arbres forestiers (ha ⁻¹)	35	30	50	25	
Précédent galerie forestière	S2A	S2B	S2C	S2D	S2D'
	(2)	(1)	(2)	(5)	(1)
Densité des cacaoyers (ha ⁻¹)	1 120	990	960	1 065	1 880
Age moyen des cacaoyers (années)	8	20	31	41	30
Nombre moyen de troncs par cacaoyer	1,3	1,5	1,3	1,7	1,5
Cacaoyers recépés (%)	10,3	15,1	21,3	37,1	38,2
Nombre d'espèces associées	9	7	5	6	7
Densité des peuplements associés (ha ⁻¹)	140	180	90	140	210
Densité des arbres forestiers (ha ⁻¹)	50	30	20	30	30

* (5) = effectif de parcelles par type de structure

3.3.2. Conséquences sur les performances actuelles des peuplements cacaoyers : des trajectoires plus ou moins performantes en termes de rendement en cacao marchand

3.3.2.1. En zones forestières

Dans le cas de la trajectoire T1, l'état actuel du peuplement cacaoyer se traduit par une surface terrière moyenne par cacaoyer qui passe de 24,5 cm² à 49,3 cm² avec l'ancienneté des cacaoyères et par un taux de cacaoyers adultes improductifs qui demeure toujours supérieur à 35 % (tableau 5). Dans le même temps, dans le cas des trajectoires T3, la surface terrière moyenne par cacaoyer passe de 15,3 cm² à 82 cm², pour un taux de cacaoyers adultes improductifs qui demeure stable, autour de 22 %.

En termes de performances des peuplements cacaoyers, le nombre moyen de cabosses par cacaoyer demeure stable dans le cas des trajectoires T1 et oscille entre 5,7 et 7,1 cabosses par cacaoyer quel que soit le stade de la cacaoyère. Par contre, le nombre moyen de cabosses par cacaoyer passe de 3,9 à 26,1 avec l'ancienneté des cacaoyères dans le cas des trajectoires T3. La tendance est la même pour le rendement potentiel en cacao marchand : il oscille entre 516 et 637 kg ha⁻¹ dans le cas des trajectoires T1 et passe de 205 kg à 1 309 kg ha⁻¹ dans le cas des trajectoires T3.

Lors de la création de la cacaoyère, opter pour une densité élevée de cacaoyers permet ainsi aux agriculteurs d'obtenir un rendement plus élevé qu'avec une densité inférieure : 637 kg contre 205 kg ha⁻¹. Mais ensuite, le développement des cacaoyers exacerbe les concurrences au sein des peuplements, ce qui entraîne une stagnation de la productivité des cacaoyers et du rendement potentiel en cacao marchand. Les basses densités de cacaoyers permettent alors une augmentation à la fois de la productivité des cacaoyers et du rendement des cacaoyères. Nos résultats confirment ceux obtenus par Mooleedhar et Lauckner (1990) et par Lachenaud (2005).

Par contre, lorsque la conduite de la cacaoyère où les cacaoyers ont été installés à haute densité, se traduit entre-temps par une réorientation technique et une diminution de la densité des cacaoyers (cas des trajectoires T2), l'état du peuplement cacaoyer s'en trouve amélioré et il se caractérise, après quelques années, par une meilleure surface terrière moyenne par cacaoyer et un taux de cacaoyers adultes improductifs plus faible. En conséquence, pour un même stade de développement, la productivité des cacaoyers est de l'ordre de 16 à 20 cabosses en moyenne par cacaoyer dans les parcelles où la densité des cacaoyers a été réduite, contre 7 cabosses dans les parcelles où la densité des cacaoyers est restée identique. Le rendement potentiel en cacao marchand est quant à lui de l'ordre de 800-836 kg ha⁻¹ contre 596 kg ha⁻¹.

3.3.2.2. En zone de transition forêt-savane

Quel que soit le précédent de végétation, la surface terrière moyenne par cacaoyer augmente avec l'ancienneté des cacaoyères, tandis que le taux de cacaoyers improductifs demeure globalement stable au cours du temps (tableau 6). Le rendement potentiel des cacaoyères augmente progressivement avec l'ancienneté des cacaoyères : au cours du temps, il passe ainsi de 424 kg de cacao marchand ha⁻¹ à 888 kg ha⁻¹ dans les cacaoyères installées sur savane, et de 421 kg ha⁻¹ à 733 kg ha⁻¹ dans les cacaoyères installées sur galeries forestières.

Concernant les trajectoires de structure T1C' et T2D', qui traduisent des trajectoires de conduite marquées par une redensification massive du peuplement cacaoyer, elles aboutissent à des performances plus nuancées en fonction des situations (tableau 6).

Sur savane, pour des parcelles ayant été installées à la même époque, la structure S1C' aboutit à une surface terrière moyenne par cacaoyer de 29,7 cm² contre 65,2 cm² dans le cas de S1C où le peuplement a fait l'objet d'une redensification à l'identique. En conséquence le nombre moyen de cabosses par cacaoyer de 5,6 pour S1C' contre 18,9 pour S1C, et le rendement potentiel moyen est de 560 kg de cacao marchand ha⁻¹ pour S1C' contre 888 kg ha⁻¹ pour S1C.

Par contre, sur galerie forestière, pour des parcelles ayant été installées à la même époque, la structure S2D' aboutit à une surface terrière moyenne par cacaoyer de 80,6 cm² contre 109 cm² dans le cas de S2D où le peuplement a fait l'objet d'une redensification permanente. Le nombre moyen de cabosses par cacaoyer de 11,2 pour S2D' contre 16,8 pour S2D, et le rendement potentiel moyen est de 702 kg de cacao marchand ha⁻¹ pour S2D' contre 727 kg ha⁻¹ pour S2D.

4. Conclusion

En adaptant notre analyse des pratiques aux spécificités des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, en particulier le temps long, et en nous focalisant sur les pratiques qui interviennent sur la structure de ces systèmes, nous avons montré que la structure actuelle des cacaoyères agroforestières du Centre Cameroun est le résultat de leurs trajectoires de conduite.

Dans les zones forestières de Zima et de Ngomedzap, la variabilité des modes de conduite s'explique en partie par l'évolution des modalités de mise en place et de gestion des différents peuplements au cours du temps. Dans la zone de transition forêt-savane, la variabilité des modes de conduite est principalement le fait des deux précédents de végétation sur lesquels sont installées les cacaoyères. Quelle que soit la zone considérée, on observe aussi que la trajectoire des anciennes cacaoyères sur le temps long est en fait, dans la plupart des cas, une succession de plusieurs phases induites par des changements de conduite ayant pour origine différents déterminants : évolution du contexte socio-économique, transmission de la cacaoyère d'une génération d'agriculteur à une autre, impact de l'encadrement technique. Nous avons ainsi relevé trois grands types de trajectoires de conduite : d'une part, une trajectoire continue où la conduite de la cacaoyère évolue peu au cours du temps ; d'autre part, une trajectoire au contraire caractérisée par une ou plusieurs phases de rupture où la cacaoyère est alors gérée *a minima* par l'agriculteur ; et enfin, une trajectoire où la conduite de la cacaoyère fait l'objet de réorientations importantes sans phase de rupture.

Dans tous les cas, on observe que la structure initiale des cacaoyères évolue au cours du temps. Cette évolution peut être progressive dans le cas d'une conduite continue où l'agriculteur va, par exemple, de façon permanente, remplacer les cacaoyers manquants et recéper les individus sénescents. Elle peut être au contraire brutale dans le cas d'une conduite où l'agriculteur va, par exemple, réduire fortement la densité du peuplement cacaoyer, ou dans le cas d'une la reprise de la cacaoyère après une phase de gestion *a minima* où l'agriculteur va remplacer les cacaoyers manquants et recéper les cacaoyers sénescents massivement.

Tableau 5 : Etats et performances du peuplement cacaoyer par type de structure actuelle en zones forestières.

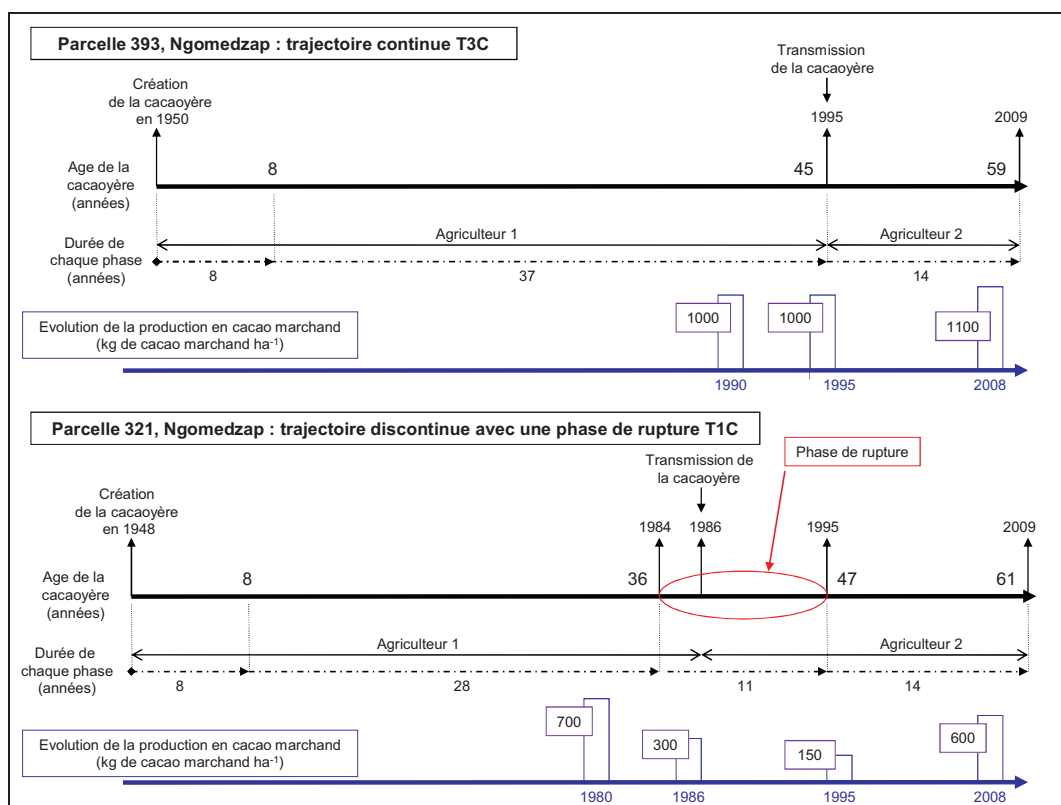
Variables		Types de structures							
		S1A	S1B	S1C	S2A	S2B	S3A	S3B	S3C
Etat du peuplement cacaoyer	Surface terrière moyenne par cacaoyer (cm ²)	24,5	24,7	49,3	63,7	87,2	15,3	82,7	82,7
	Cacaoyers adultes improductifs (%)	38,3	45,4	35,6	11,4	13,3	21,9	21,4	21,9
	Hauteur (m)	2,4	2,3	3,3	2,9	3,2	1,6	2,7	3,3
Rendement potentiel en cacao marchand (kg ha ⁻¹)		637	516	596	800	836	205	751	1 309
Nombre moyen de cabosse par cacaoyer		5,7	5,7	7,1	16,5	20,1	3,9	17,1	26,1

Tableau 6 : Etats et performances du peuplement cacaoyer par type de structure actuelle en zone de transition forêt-savane.

Variables		Types de structures					
		S1A	S1B	S1C	S1C'		
Précédent savane Etat du peuplement cacaoyer	Surface terrière moyenne par cacaoyer (cm ²)	37,2	56,2	65,2	29,7		
	Cacaoyers adultes improductifs (%)	19,5	15,6	16,6	36,6		
	Hauteur (m)	2,0	2,7	3,0	1,9		
Rendement potentiel en cacao marchand (kg ha ⁻¹)		563	750	888	560		
Nombre moyen de cabosse par cacaoyer		11,1	15,9	18,9	5,6		
Précédent galerie forestière		S2A	S2B	S2C	S2D	S2D'	
Etat du peuplement cacaoyer	Surface terrière moyenne par cacaoyer (cm ²)	40,2	62,3	74,6	109	80,6	
	Cacaoyers adultes improductifs (%)	12,6	13,1	14,3	11,7	14,8	
	Hauteur (m)	2,4	3,1	3,2	3,3	2,9	
Rendement potentiel en cacao marchand (kg ha ⁻¹)		421	557	721	727	702	
Nombre moyen de cabosse par cacaoyer		10,5	12,5	18,9	16,8	11,2	

L'analyse des pratiques révèle donc que les agriculteurs disposent d'une certaine souplesse pour faire évoluer leurs systèmes agroforestiers à base de cacaoyer selon leurs objectifs de production, comme le montre la figure 14. Cette figure montre l'évolution du rendement en cacao marchand de deux cacaoyères installées à Ngomedzap ayant connu des trajectoires de conduite différentes après reconstitution avec l'agriculteur. La parcelle 393 a fait l'objet d'une conduite continue du type T3C depuis sa création en 1950. Bien qu'elle soit gérée depuis 1995 par un agriculteur différent de celui qui l'a mise en place, son rendement en cacao marchand est demeuré relativement stable, autour de 1 000 kg ha⁻¹. Par contre, la parcelle 321, créée en 1948, a connu une conduite discontinue du type T1C marquée par une phase de rupture. En conséquence, le rendement en cacao marchand, qui était de l'ordre de 700 kg ha⁻¹ avant la phase de rupture a progressivement décliné pour atteindre 150 kg ha⁻¹ après onze ans d'une gestion *a minima*. Après la reprise de la cacaoyère par l'agriculteur actuel, le rendement a à nouveau augmenté et a quasiment retrouvé le niveau qui était le sien à 32 ans.

Figure 14 : Exemples d'évolution du rendement en cacao marchand par type de trajectoire de conduite.



Chaque trajectoire de conduite aboutit à une trajectoire de structure qui confirme la flexibilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer qui peuvent être gérés *a minima* quelques années avant d'être repris et réhabilités. En effet, les agriculteurs tirent parti des caractéristiques à la fois physiologiques et morphologiques du cacaoyer en intervenant à l'échelle du peuplement comme à l'échelle de l'individu, en fonction de leurs objectifs de production. A l'échelle du peuplement, la possibilité du cacaoyer de se développer dans un environnement ombragé offre à l'agriculteur la possibilité de remplacer les individus manquants. A l'échelle de la plante, la morphologie du cacaoyer permet à l'agriculteur de le recéper afin de renouveler l'appareil productif.

L'analyse des pratiques montre que les agriculteurs disposent de plusieurs leviers pour faire évoluer leurs systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et passer d'une structure à une autre sans que cela implique la mise en place d'une nouvelle parcelle.

Dans le monde de la recherche agronomique, la restructuration d'une ancienne cacaoyère est en effet généralement envisagée lorsque le peuplement, devenu sénescant, est caractérisé par de fortes mortalités qui entraînent une diminution de la densité des cacaoyers en cas de non redensification (Dupont de Dinechin, 1963 ; Lanfranchi, 1971 ; Jadin, 1992). Ces mortalités ont été estimées autour de 50 % à 40 ans et à plus de 75 % à 50 ans (Laryea, 1971). Dans ce cas, la recherche agronomique recommande une redensification progressive du peuplement, en bandes alternant des haies de jeunes cacaoyers et des haies de vieux cacaoyers. Une redensification totale est également préconisée en plantant les jeunes cacaoyers sous les vieux avant d'éliminer ces derniers quelques années plus tard (Braudeau, 1969 ; Wood and Lass, 1985 ; Aguilar et Jadin, 1997). Les modalités de redensification des peuplements cacaoyers adoptées par les agriculteurs du Centre Cameroun, combinées aux pratiques de régénération des cacaoyers sénescants qu'ils mettent en œuvre, leur permettent de restructurer de façon originale leurs cacaoyères, ce qui constitue une innovation majeure par rapport au schéma de réhabilitation des anciennes cacaoyères issu de la recherche.

Nos résultats confirment par ailleurs la capacité d'adaptation du cacaoyer face à une diminution de la densité des peuplements, notamment dans le cadre d'une conduite avec réorientation majeure qui permet aux agriculteurs d'améliorer après quelques années les performances de leurs systèmes, en termes de rendement en cacao marchand. La comparaison de la trajectoire T1C avec les trajectoires T2A et T2B apporte en effet la preuve qu'il est possible de réduire pratiquement de moitié la densité des cacaoyers et, dans le même temps, de tripler leur productivité. Ces résultats vont dans le même sens que ce qui a été observé récemment dans des cacaoyères de type industriel et en station de recherche. En plantation industrielle, Bastide et al. (2008) mettent en effet en évidence que le rendement en cacao marchand des peuplements cacaoyers est resté stable malgré une diminution graduelle de leur densité, de l'ordre de 33 % après 21 ans. En station de recherche, Lachenaud et Oliver (1998) montrent que la réduction de moitié de la densité de cacaoyers, de 1 666 plants ha⁻¹ à 833 plants ha⁻¹ dix ans après la plantation, a entraîné un accroissement de 35 % à 65 % du rendement selon le matériel végétal hybride considéré, provoqué par une multiplication de la productivité par arbre allant jusqu'à 4,2.

Nos résultats permettent de formuler des propositions pour la mise au point d'un nouveau modèle technique en cacaoculture. Si de fortes densités lors de la mise en place de la cacaoyère, supérieures à 1 600 plants ha⁻¹, présentent l'avantage d'obtenir dans un premier temps un rendement supérieur à celui obtenu avec des densités plus basses, il est toutefois nécessaire après quelques années d'amener la densité des cacaoyers aux environs de 1 100 plants ha⁻¹, voire moins, pour augmenter leur productivité. L'élimination progressive des cacaoyers en surnombre limite les concurrences au sein des peuplements et permet d'accroître et de maintenir sur le long terme le rendement potentiel en cacao marchand des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer aux environs de 800 kg ha⁻¹. Des expérimentations conduites en parcelles d'agriculteurs, où pourraient être réalisées des éclaircies plus importantes dans les peuplements cacaoyers, seraient toutefois nécessaires pour mesurer l'impact de densités plus faibles sur la productivité des cacaoyers.

Discussion

Discussion

L'ensemble de notre travail a mobilisé différentes méthodes et démarches dans la perspective de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes agroforestiers complexes à base de cacaoyer et leur dynamique sur le temps long. Dans ce chapitre, nous reviendrons tout d'abord sur la méthodologie que nous avons adoptée et discuterons des limites des différents outils utilisés. Les différents résultats de notre travail seront ensuite synthétisés afin de montrer qu'en cacaoculture, un modèle technique agroforestier durable, différent de celui mis en œuvre dans les principaux pays producteurs autres que le Cameroun, est possible. Enfin, nous formulerons des propositions opérationnelles avant d'achever ce chapitre par les perspectives scientifiques susceptibles de poursuivre les travaux de recherche sur les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer.

1. A propos de la méthodologie retenue

Pour analyser et évaluer sur le temps long les systèmes agroforestiers complexes à base de cacaoyer, nous avons formulé cinq hypothèses principales. Ces hypothèses ont été vérifiées sur un dispositif établi au Centre Cameroun où le verger cacaoyer est constitué en grande partie de cacaoyères anciennes. Différents outils de l'agronomie ont été mobilisés à différentes échelles : enquêtes d'agriculteurs, observations biologiques (inventaires floristiques, analyses de sol), diagnostic agronomique régional, analyse des pratiques.

Pour contourner les différentes difficultés méthodologiques liées aux spécificités des systèmes agroforestiers complexes (longueur du cycle biologique du cacaoyer et des espèces associées, diversité des associations mises en œuvre dans les parcelles d'agriculteurs), nous avons croisé une approche synchronique, basée sur des observations conduites sur un réseau de parcelles d'agriculteurs, et une approche diachronique, basée sur des enquêtes d'agriculteurs. Ces approches constituent les fondements de l'analyse systémique des activités de production végétale (Sebillotte, 1974). Nous avons par ailleurs choisi d'une part, d'analyser la composante principale de ces systèmes, à savoir le peuplement cacaoyer ; d'autre part, de nous affranchir du temps court dans la conduite des cacaoyères agroforestières. Enfin, nous avons considéré les peuplements associés comme un élément essentiel de notre analyse.

En adoptant une approche synchronique, nous avons pu évaluer à un temps t les performances du peuplement cacaoyer afin d'identifier les principales causes des variations de rendement potentiel en cacao marchand à partir d'observations collectées sur des cacaoyères en production, d'âge différents, représentant les différents stades d'évolution du système. Cette approche nous a aussi permis d'évaluer globalement le système en estimant avec les agriculteurs la valeur d'usage qu'ils accordent à chaque espèce. L'approche diachronique, quant à elle, a été mobilisée d'une part, en remplaçant les données collectées au cours des enquêtes dans une perspective temporelle en présentant la plupart des résultats par classes d'âge des cacaoyères (3 à 7 classes d'âge selon les cas) ; ce qui nous a permis d'évaluer la durabilité des systèmes étudiés, et d'autre part, en s'appuyant sur les histoires culturelles des parcelles du réseau d'observation afin de reconstituer *a posteriori* les trajectoires d'évolution des pratiques, avant de les mettre en lien avec les situations culturelles de ces parcelles, ce qui nous a permis d'analyser la dynamique des systèmes sur le long terme (plusieurs décennies).

Dans un premier temps, les enquêtes à dire d'agriculteurs nous ont permis de collecter rapidement une masse importante de données afin de caractériser à grands traits les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, leur dynamique au cours du temps, et de faire apparaître les différences régionales qui existent entre les zones de cacaoculture (chapitre 1). Ce type d'enquête est d'ailleurs un des préalable au diagnostic agronomique régional (Boiffin et al., 1981 ; Aubry et al., 1994 ; Doré et al., 1997). Dans un deuxième temps, la mise en place raisonnée d'un réseau de parcelles appartenant à différents agriculteurs a permis d'analyser plus finement à la fois le fonctionnement du système et l'évolution des pratiques sur le long terme. En premier lieu, ce dispositif nous a permis, à partir d'inventaires floristiques, de préciser les usages des espèces associées aux cacaoyers et d'estimer de façon participative leur valeur d'usage. Nous avons pu ainsi vérifier que le peuplement cacaoyer est, pour les agriculteurs, la composante principale des systèmes agroforestiers étudiés. En second lieu, ce dispositif nous a permis de réaliser un diagnostic agronomique du peuplement cacaoyer et d'identifier les variables de structure à l'origine des variations de rendement potentiel en cacao marchand. En troisième lieu, le réseau d'agriculteurs nous a permis d'analyser leurs pratiques sur le long terme, en lien avec l'évolution technique des peuplements cacaoyers.

Sur le plan opérationnel, la mise en place de la démarche n'a pas soulevé de difficultés particulières. Conduire des enquêtes auprès d'un grand nombre d'agriculteurs (1 171 exploitations regroupant 1 638 cacaoyères) a impliqué d'établir un questionnaire qui permette de collecter les données souhaitées. Avant de procéder à l'enquête elle-même, nous avons préalablement testé ce questionnaire avec une dizaine d'agriculteurs afin de le valider. Puis, dans chaque zone d'étude, nous avons identifié quatre enquêteurs (lettrés et connaissant bien la zone) que nous avons formés et suivis au cours de l'enquête, en procédant notamment par des sondages afin de vérifier la qualité des données collectées. Réaliser cette enquête a également impliqué de pouvoir saisir et analyser les données collectées dans un temps relativement court (moins de trois mois) afin de pouvoir organiser des ateliers de restitution dans les zones d'étude pour valider les résultats obtenus. Six ateliers de restitution ont ainsi été organisés, regroupant chaque fois une vingtaine de personnes (agriculteurs, personnes ressource).

La mise en place du réseau d'observation (61 cacaoyères appartenant à 40 agriculteurs) a impliqué d'identifier et de visiter un nombre significatif de parcelles d'agriculteurs afin de sélectionner celles répondant aux critères définis préalablement (voir méthodologie, chapitre 4). Ensuite, dans chaque placette, les cacaoyers ont été marqués à l'aide d'une pancarte et numérotés afin d'éviter toute confusion lors des observations. La collecte des données biologiques concernant les peuplements cacaoyers et les peuplements associés a nécessité de disposer d'observateurs préalablement formés et disponibles pour réaliser les observations que le diagnostic agronomique régional impliquait. Outre les arbres associés, plus de 9 600 cacaoyers ont ainsi été caractérisés par une équipe de quatre personnes constituée d'un technicien de l'Irad et de trois observateurs recrutés localement. La production des cacaoyères a été suivie pendant deux ans et à chaque passage, toutes les cabosses de plus de dix centimètres étaient marquées à l'aide d'une peinture de couleur différente afin de ne pas comptabiliser deux fois la même cabosse. L'estimation de la valeur d'usage accordée par les agriculteurs aux différentes espèces, comme les enquêtes spécifiques, a impliqué qu'ils soient volontaires et disponibles pour se prêter aux différents exercices et aux nombreux entretiens que ces méthodes imposent. Ces méthodes ont impliqué aussi une grande disponibilité de la part de l'enquêteur.

Figure 1 : Evolution d'un système de culture agroforestier à base de cacaoyer au cours du temps.

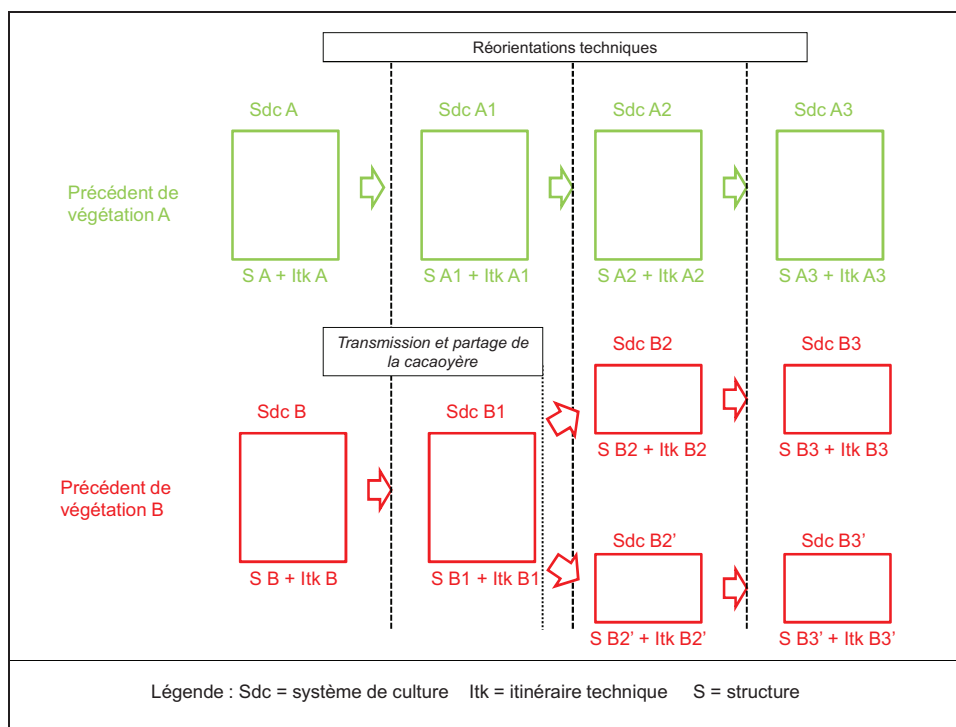
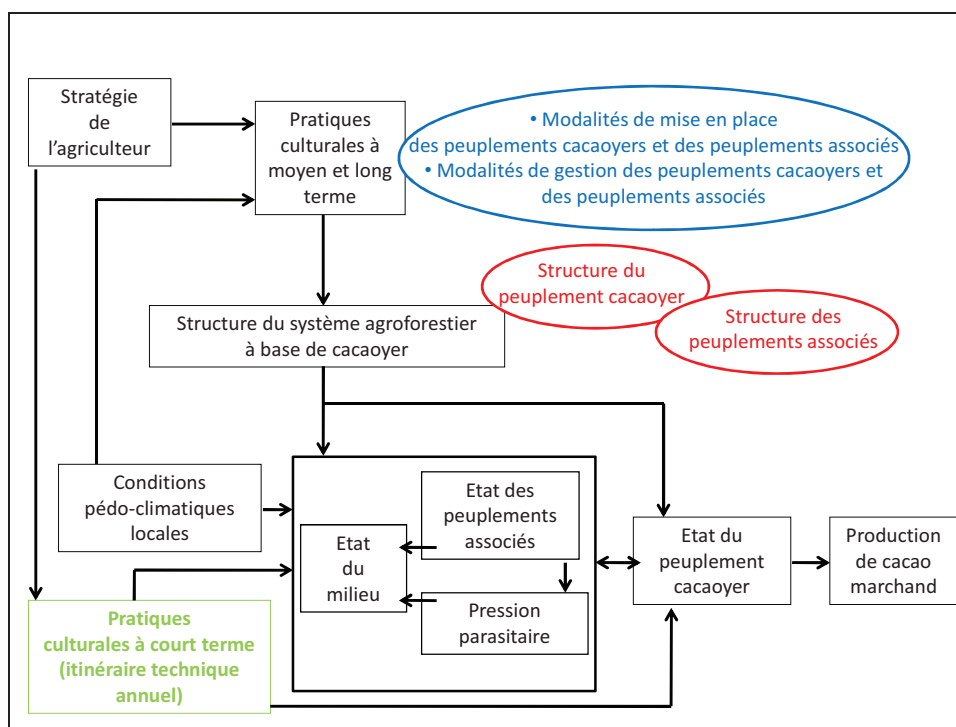


Figure 2 : Schéma revisité des relations entre pratiques, milieu et peuplement dans le cadre de l'évaluation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer.



Le choix d'évaluer un système agroforestier à base de cacaoyer à travers sa structure

Nous avons fait le choix d'analyser le fonctionnement agroécologique du système agroforestier à base de cacaoyer en analysant principalement sa structure. Ce choix correspond à celui fait par d'autres auteurs dans d'autres systèmes agroforestiers (Michon et al., 1983 ; Fernandes et Nair, 1986 ; Torquebiau, 1992 ; Kumar et Nair, 2004). L'approche offre l'intérêt de pouvoir disposer d'indicateurs pertinents pour caractériser les peuplements en tenant compte de leur hétérogénéité, ce qui constitue le principal obstacle à l'évaluation des systèmes complexes (Doré et al., 2008). Mais dans le même temps, cette approche appliquée dans le cas précis du cacaoyer nous a amené à poser l'hypothèse que la structure du système est le résultat de pratiques spécifiques, différentes de celles considérées dans l'analyse des systèmes de culture à base de plantes annuelles où les pratiques concernent la mise en place du peuplement et sa conduite annuelle. La prise en compte de ces deux types de pratiques concerne aussi certains systèmes monospécifiques à base de plantes pérennes, comme l'hévéa et le palmier à huile par exemple, dans lesquels l'agriculteur n'intervient pas sur la structure des peuplements après leur mise en place et leur entrée en production. Ce n'est pas le cas des systèmes plurispécifiques à base de cacaoyer dont la structure peut être modifiée lorsque l'agriculteur intervient sur l'un ou les peuplements cultivés en association. Dans le cas d'une cacaoyère agroforestière, par exemple, ces pratiques concernent principalement le recépage des cacaoyers, la redensification des peuplements, mais aussi la taille des arbres associés afin de régler l'ombrage. Ces pratiques, que nous avons appelées pratiques de régénération, sont différentes d'une part, des pratiques d'implantation et d'autre part, des pratiques de conduite annuelle. Elles sont réalisées ponctuellement par l'agriculteur au gré de ses observations, sont difficilement quantifiables à l'échelle de la parcelle, mais elles ont un impact à moyen et long terme sur la structure du système.

Dans notre cas, l'analyse de la conduite technique du système, à travers sa structure, a consisté à s'abstraire du temps court en ne considérant pas la conduite annuelle de la parcelle. Ce choix sous-entend que la structure d'une cacaoyère agroforestière est déterminante et est avant tout le reflet des pratiques de mise en place du système et des pratiques de régénération au cours du temps du peuplement cacaoyer et des peuplements associés.

L'adaptation du concept de système de culture

Notre démarche d'évaluation repose sur le concept de système de culture et nous a amené à adapter ce dernier. Dans le cas des systèmes à base de plantes annuelles, les interactions dans le temps entre les actes techniques se font principalement par l'intermédiaire du sol (effet précédent, effets cumulatifs). Mais dans le cas des plantes pérennes où il n'y a pas, contrairement aux plantes annuelles, de rotation de cultures, le peuplement est mis en place pour plusieurs décennies et évolue au cours du temps. Les interactions entre les actes techniques ne se font donc plus seulement par l'intermédiaire du sol mais également par celui des états des peuplements du système sur lesquels les agriculteurs peuvent intervenir. Comme nous l'avons montré, quel que soit le précédent de végétation, la structure initiale du système agroforestier à base de cacaoyer se transforme au cours du temps selon les modalités de gestion des peuplements cacaoyers (redensification du peuplement, recépage des cacaoyers sénescents) et des peuplements associés (élimination d'arbres en surnombre ou introduction d'arbres ou d'une nouvelle espèce dans le système).

Après sa mise en place, le système peut ainsi suivre une succession d'états structuraux. Un système de culture peut être alors défini par une même structure, une même succession d'états structuraux et un même itinéraire technique, une trajectoire d'états structuraux correspondant à une trajectoire de systèmes de culture et donc à une succession de systèmes de culture (figure 1). Chaque changement de système de culture correspond à un changement de projet de l'agriculteur, voire d'agriculteurs lors, par exemple, de la transmission et du partage de la cacaoyère à deux héritiers. Des réorientations techniques peuvent être en effet observées si ces derniers ont des projets productifs différents.

Un schéma des relations indirectes entre pratiques et rendement revisité

Evaluer un système agroforestier à base de cacaoyer à travers sa structure aboutit par ailleurs à intégrer cette dernière dans le schéma d'analyse des relations entre pratiques, états du milieu, état du peuplement végétal cultivé et performances habituellement mobilisé dans l'analyse des systèmes de culture à base de plantes annuelles (Sebillotte, 1974 ; 1978).

La stratégie de l'agriculteur se traduit en effet par différents types de pratiques qui ont un impact différent sur la structure du système, ce qui nous amène à distinguer la conduite annuelle (entretien du sol, traitements phytosanitaires) des pratiques d'implantation et de régénération au cours du temps du peuplement cacaoyer et des peuplements associés (redensification, recépage des cacaoyers sénescents, réglage de l'ombrage). Les peuplements associés et la pression parasitaire sont considérés, au même titre que le sol, comme des composantes du milieu pour le peuplement cacaoyer, ces trois composantes étant fortement liées entre elles : les peuplements associés impactent le niveau de fertilité du sol mais peuvent également impacter la pression parasitaire liée aux mirides en cas d'ombrage insuffisant (figure 2).

Le choix d'estimer le rendement potentiel et non le rendement réel

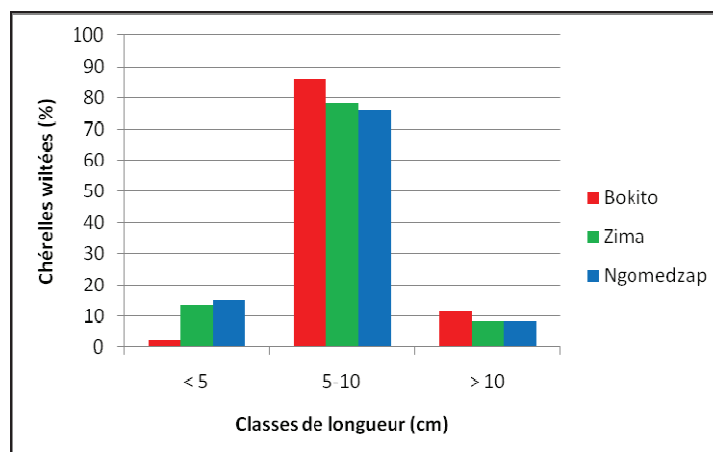
Dans le cas des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer, s'abstraire du temps court en ne considérant pas la conduite annuelle de la parcelle a toutefois impliqué que nous adaptions notre méthode d'évaluation du rendement en cacao marchand.

Parmi les pratiques annuelles, le contrôle de la pourriture brune des cabosses (encadré 2, chapitre 4) implique en effet des traitements phytosanitaires répétés qui visent à limiter les pertes en fruits avant la récolte. Comptabiliser les cabosses saines sans tenir compte des pertes liées à ce parasite n'aurait donc aucun sens. Pour contourner cette difficulté, nous avons fait le choix d'estimer le rendement potentiel en cacao marchand en comptant les cabosses d'une taille supérieure à dix centimètres, et en faisant l'hypothèse que ces fruits parviendront à maturité. Les mesures que nous avons réalisées en 2007 sur 1 206 chérelles wiltées ont confirmé que celles-ci mesurent en général moins de dix centimètres (figure 3). Globalement, seules 10 % des chérelles wiltées ont une longueur supérieure à dix centimètres. Ce taux est de l'ordre de 8 % à Zima et à Ngomedzap et d'environ 12 % à Bokito où, comme cela a été montré, la proportion d'hybrides est plus importante qu'ailleurs.

Par ailleurs, nous avons opté pour un comptage des cabosses à raison de trois passages par an effectués en juin/juillet, août/septembre et octobre/novembre. Cette périodicité nous a permis d'une part de tenir compte de l'apparition progressive des fruits après le début de la saison des pluies, et d'autre part, de prendre en compte le décalage de plusieurs semaines qui existe entre le sud (zones forestières) et le nord (zone de transition forêt-savane) de la région du Centre.

En 2008, nous avons également procédé au comptage des cabosses récoltées par les agriculteurs afin d'estimer le différentiel entre production potentielle et production réellement récoltée. Nous avons obtenu à cette occasion une différence de 16,2 % ($\pm 1,78$), chiffre qui permet de valider notre méthode de comptage dont l'intérêt est d'être moins lourde à mettre en place, moins exigeante en main d'œuvre et moins consommatrice en temps que les méthodes généralement mobilisées pour estimer la productivité des cacaoyers dans les stations de recherche (Lotodé et Lachenaud, 1988). Les méthodes habituelles d'évaluation de la production d'une cacaoyère reposent en effet sur des comptages et des pesées de cabosses et sont difficilement utilisables en parcelles d'agriculteurs (Lachenaud, 1984). Une autre méthode, basée sur des évaluations visuelles du nombre de cabosses par cacaoyer, a montré qu'il était possible d'évaluer la productivité des cacaoyers de façon simple et fiable (Tahi et al., 2003). Cette méthode a toutefois été mise en œuvre dans une parcelle expérimentale et non en parcelles d'agriculteurs où la plupart du temps, la structure du peuplement cacaoyer est beaucoup plus hétérogène. Notre méthode apparaît donc comme une alternative intéressante pour estimer la productivité des cacaoyers dans des systèmes agroforestiers.

Figure 3 : Répartition des chérelles wiltées par classe de taille et par zone. Etude réalisée sur 1 206 chérelles wiltées (Bokito : 362 ; Zima : 369 et Ngomedzap : 475).



La limite liée à la non pesée des fèves fraîches

Une limite de notre méthode réside toutefois dans le fait que nous avons considéré le poids des fèves fraîches par cabosse comme une valeur constante. Nous avons en effet retenu la valeur moyenne de 115 g de fèves fraîches par cabosse obtenue par Babin (2009) suite à des mesures conduites en 2003 et 2004 dans des cacaoyères agroforestières similaires à celles de notre réseau de parcelles d'agriculteurs et localisées dans les mêmes zones d'étude. Or, Lachenaud (1991a) a montré l'importance des facteurs nutritionnels dans la détermination du poids moyen d'une fève.

« Ces facteurs sont : la climatologie et tout particulièrement les longues sécheresses, la densité de plantation, les types d'écartement, l'ombrage et d'autres regroupés dans « l'effet-arbre » et peut-être lié à son histoire. La concurrence entre cabosses semble également jouer un rôle ». Il apparaît ainsi que l'arbre porteur est un facteur très important de variation du poids moyen d'une fève sans que cela puisse être rapporté à sa vigueur morphologique et à sa charge en cabosses. De plus, les fèves les plus lourdes sont celles des traitements dont les densités sont les plus faibles (666 pieds ha⁻¹), au contraire de la densité de 1 333 pieds ha⁻¹ qui est le traitement où les fèves sont les plus légères. Le traitement qui présente la répartition la plus homogène dans l'espace, et donc théoriquement moins de concurrences entre les cacaoyers, présente un poids de fèves supérieur au traitement où les cacaoyers sont plantés en lignes jumelées. Enfin, les cacaoyers sous ombrage ont des fèves plus légères que ceux conduits sans ombrage.

En Côte d'Ivoire, Lachenaud (1991b) met également en évidence les variations saisonnières du poids moyen des fèves fraîches en montrant que ce dernier est plus corrélé à la date de la récolte qu'aux cumuls pluviométriques. Le poids moyen d'une fève baisse ainsi de 42 % au cours de la récolte. Ces résultats confirment ceux obtenus par Toxopeus et Wessel (1970) et Hutcheon (1981). Au Ghana, Edwards (1972) mentionne d'ailleurs que « l'indice de cabosses » ou « *Pod index* », c'est-à-dire le nombre de cabosses nécessaires pour obtenir une livre anglaise de cacao marchand (453 g), augmente d'août à janvier en fonction du matériel végétal considéré (hybrides et Amelonado). Au Nigeria, Are et Atanda (1972) citent des indices de cabosses moyens sur quatre ans qui varient de 11,5 (récoltes de saison sèche) à 18,5 (récoltes de saison des pluies). Les facteurs biologiques et physiologiques intervenant sur le poids des fèves sont donc multiples. Il n'est cependant pas aisé, dans des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer aussi hétérogènes et complexes que ceux du Centre-Sud du Cameroun, de mettre en évidence les interactions entre ces différents facteurs, d'autant que de telles analyses impliquent d'adopter un dispositif d'échantillonnage de cabosses et de pesée de fèves fraîches relativement lourd et difficile à mettre en œuvre.

L'analyse des pratiques

Il n'est pas toujours aisé de reconstituer l'histoire culturelle d'anciennes cacaoyères, de connaître par exemple les modalités de conduite des différents peuplements avant que ces cacaoyères ne soient gérées par les exploitants actuels. Il peut en être de même dans le cas de cacaoyères installées par les exploitants actuels et pour lesquels il n'est pas forcément évident de préciser avec exactitude les modalités de pratiques mises en œuvre plusieurs décennies auparavant.

Notre analyse des pratiques sur des enquêtes à dire d'acteurs présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre mais elle implique de travailler avec des agriculteurs volontaires et disponibles pour consacrer du temps aux différents entretiens. Les indicateurs de structure que nous avons retenus pour retracer l'évolution des pratiques (densité des cacaoyers et des peuplements associés, proportion de cacaoyers recépés) se sont avérés pertinents car ils ont du sens pour les agriculteurs. Dans le cas des anciennes cacaoyères qui ne sont plus gérées par les agriculteurs qui les ont installées, notre démarche a permis aux agriculteurs de reconstituer sans trop de difficultés et à grands traits l'histoire de la parcelle et son histoire culturelle. Bon nombre d'agriculteurs ont en fait accompagné, quand ils étaient enfants, leurs parents dans les cacaoyères et ont donc conservé des souvenirs assez précis, que l'on peut d'ailleurs recouper en consultant des personnes ressources. Mais les enquêtes à dire d'acteurs conservent cependant une part d'incertitude et d'imprécision.

2. Un autre modèle de cacaoculture est-il possible ?

Notre hypothèse de départ était qu'il existe un modèle de cacaoculture différent de celui adopté par les agriculteurs des principaux pays producteurs, comme en Côte d'Ivoire, qui est souvent peu durable et mis en œuvre au détriment des zones forestières.

Nos travaux de recherche montrent qu'il est possible de cultiver le cacaoyer dans des systèmes agroforestiers complexes tout en obtenant des niveaux de rendements supérieurs à ce qui est communément admis et ce, bien après 30-40 ans, seuil au-delà duquel on considère généralement qu'une cacaoyère doit être totalement réhabilitée ou abandonnée.

Les valeurs de l'indice de Shannon obtenues à partir des inventaires floristiques confirment le niveau d'agrobiodiversité élevé des cacaoyères agroforestières (chapitres 1, 2 et 4). Ces cacaoyères reposent sur une valorisation judicieuse de la biodiversité par les agriculteurs qui associent aux peuplements cacaoyers des espèces fruitières et forestières dont les usages sont multiples. Ces espèces ont pour la plupart une valeur d'usage avérée, qui peut être importante pour certaines d'entre elles (chapitre 3). Cette complexité apparaît cependant construite et gérée par les agriculteurs en fonction du peuplement cacaoyer, composante principale de ces systèmes (chapitre 3), et leur permet d'obtenir une production de cacao marchand relativement stable sur le long terme (chapitres 1 et 2). Les résultats de notre évaluation des peuplements cacaoyers montrent également que le niveau de leurs performances, en termes de rendement potentiel en cacao marchand, vont à l'encontre de ce qui est communément admis (chapitre 4). Alors que les valeurs moyennes de production obtenues à partir de données d'enquêtes suggèrent généralement la faiblesse globale des rendements en cacao marchand des cacaoyères agroforestières (chapitre 1 et 2), notre évaluation montre au contraire que la complexité du système de culture n'est pas forcément incompatible avec un rendement potentiel en cacao marchand élevé, y compris dans des cacaoyères anciennes. Bien au contraire, la gestion de cette complexité apparaît comme un des facteurs clés de la durabilité du modèle technique mis au point par les agriculteurs du Centre Cameroun. Les modalités de gestion des peuplements associés se traduisent notamment par une réduction de leur densité avec le temps (chapitres 1, 2 et 4) et permettent aux agriculteurs de gérer à la fois la fertilité des sols sur le long terme sans fertilisation minérale (chapitres 2 et 4) et la pression parasitaire liée à la pourriture brune des cabosses et aux mirides avec un minimum d'intrants chimiques (chapitre 1).

La durabilité des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer trouve également son origine dans la flexibilité qu'offre la gestion des peuplements cacaoyers sur le long terme. Les agriculteurs du Centre Cameroun apportent en effet la preuve qu'il est tout d'abord possible de conduire sur plusieurs décennies un peuplement cacaoyer en le redensifiant et en régénérant les cacaoyers sénescents (chapitres 1 et 4) y compris lorsque la conduite de la cacaoyère a connu une phase de rupture (chapitre 5). De telles pratiques permettent de renouveler progressivement les peuplements cacaoyers qui sont ainsi effectivement rajeunis (chapitre 1) et d'augmenter ainsi leur productivité (chapitre 4). Les agriculteurs du Centre Cameroun montrent ensuite que la conduite d'une cacaoyère agroforestière peut être adaptée en fonction du projet de l'exploitant sans pour autant remettre en cause son potentiel de production (chapitre 5). Un peuplement cacaoyer peut être ainsi géré *a minima* pendant plusieurs années avant d'être repris, redensifié et régénéré, pour qu'il retrouve son niveau de production initial.

Sa structure peut être également profondément remaniée, en dehors de toute phase de rupture, en réduisant ou en augmentant la densité des cacaoyers (chapitre 5). Les agriculteurs tirent ainsi parti de la capacité du cacaoyer de croître dans un environnement ombragé en raison des caractéristiques de son appareil physiologique mais également de ses caractéristiques morphologiques qui permettent de renouveler, presque à l'infini son appareil productif.

Ces différents résultats confirment donc qu'un autre modèle de cacaoculture, basé sur un système de culture du type agroforestier, peu consommateur d'intrants et permettant une production durable de cacao qui réponde aux attentes des agriculteurs, est possible.

Un autre résultat important de nos travaux est de montrer que ce modèle permet de cultiver le cacaoyer dans des zones considérées comme sub-optimales pour la cacaoculture (chapitre 2). En zone de transition forêt-savane, les pratiques agroforestières des agriculteurs leur permettent d'une part, d'installer une cacaoyère sur savane après avoir contrôlé *Imperata cylindrica*, et d'autre part, de contourner les différentes contraintes auxquelles ils se heurtent : inégale répartition des pluies, médiocre qualité des sols. Dans un contexte de disparition des terres forestières, la possibilité de cultiver le cacaoyer dans des zones jusqu'alors considérées comme marginales offre de nouvelles perspectives pour le développement de la cacaoculture, laquelle doit s'adapter, comme les autres productions agricoles, au réchauffement climatique observé ces dernières années.

Mais la durabilité écologique des cacaoyères agroforestières installées dans cette zone repose également sur le fait que les agriculteurs optent pour des densités de cacaoyers plus basses qu'en zone forestière (chapitres 1 et 4) et des peuplements associés essentiellement constitués d'espèces fruitières (chapitres 2 et 4). Ces pratiques ont pour principale conséquence de limiter les concurrences entre cacaoyers et entre les différents peuplements, et se traduisent par des rendements potentiels en cacao marchand plus élevés qu'ailleurs (chapitres 1 et 4). Nos résultats mettent ainsi en exergue les différences régionales qui existent au sein du système agroforestier mis en œuvre par les agriculteurs du Centre-Sud du Cameroun. Si les modalités de gestion du peuplement cacaoyer et des peuplements associés sont globalement les mêmes quelle que soit la zone d'étude, notamment en termes de redensification, régénération des cacaoyers, réglage de l'ombrage, on observe cependant des différences importantes dans les pratiques des agriculteurs qui aboutissent à des structures de cacaoyères très différentes entre nos trois zones d'étude (chapitres 4 et 5). Contrairement aux cacaoyères de la zone de transition forêt-savane de Bokito, celles de la zone forestière de Ngomedzap sont ainsi caractérisées par des densités de cacaoyers élevées et des peuplements associés constitués essentiellement d'espèces forestières. Les cacaoyères de la zone forestière de Zima sont quant à elles un compromis des deux précédentes : elles reposent sur une densité de cacaoyers similaire à celle des cacaoyères de Ngomedzap mais s'avèrent proches de celles de Bokito en termes de composition floristique.

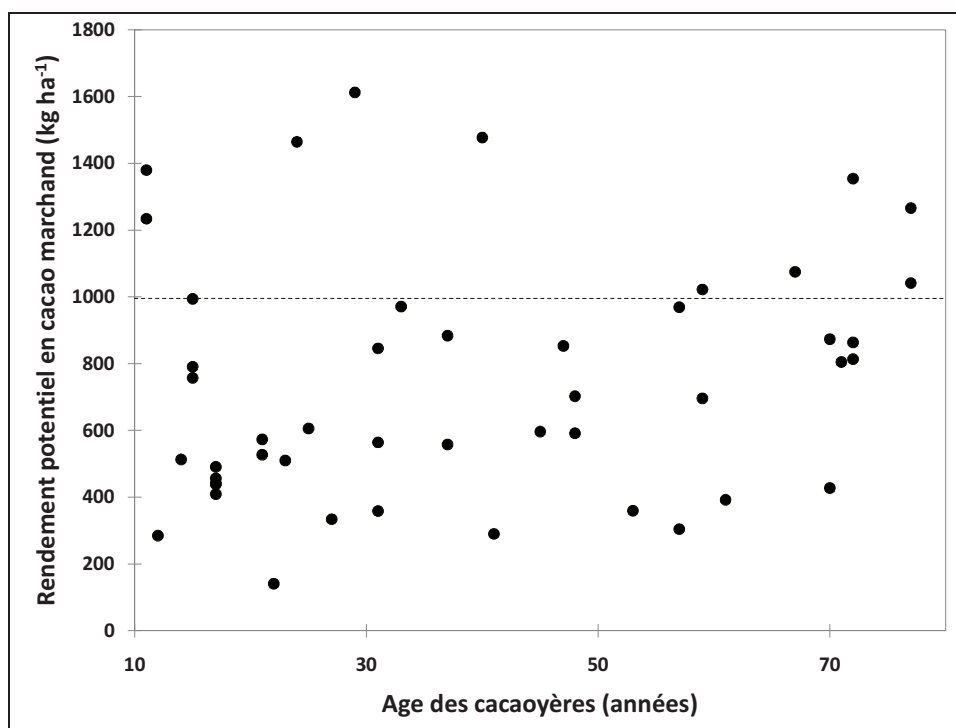
En conséquence, et c'est un paradoxe apparent, les cacaoyères agroforestières installées dans la zone de transition forêt-savane, jugée sub-optimale pour la cacaoculture, présentent en moyenne de meilleures performances en termes de rendement potentiel en cacao marchand, que les cacaoyères installées dans les zones forestières.

3. Perspectives pour le développement agricole

Un des principaux résultats de nos travaux de recherche est d'avoir pu identifier les différentes pratiques à l'origine des variations de rendement potentiel en cacao marchand des cacaoyères forestières. Sur le plan opérationnel, notre travail de thèse permet ainsi de proposer des voies d'améliorations techniques.

La figure 4 permet de visualiser les parcelles âgées de plus de dix ans qui présentent un rendement potentiel supérieur à une tonne de cacao marchand. Ces parcelles sont caractérisées par une densité de cacaoyers qui est en moyenne de 1 140 cacaoyers ha^{-1} et une densité des peuplements associés de 100 arbres ha^{-1} dont 70 arbres fruitiers ha^{-1} . En moyenne, sept espèces sont associées aux cacaoyers. La valeur moyenne de l'indice de Shannon (1,7) et celle de l'indice de richesse spécifique (1,7) confirment qu'un niveau élevé d'agrobiodiversité n'est pas incompatible avec un rendement élevé de cacao marchand, y compris dans les parcelles âgées de plus de 40 ans.

Figure 4 : Performances et âge des cacaoyères agroforestières les mieux classées de notre évaluation en termes de rendement potentiel en cacao marchand.



L'installation de nouvelles cacaoyères peut être réalisée en adoptant une densité des cacaoyers supérieure à 1 600 cacaoyers ha^{-1} car, comme l'ont montré plusieurs auteurs, ce schéma d'implantation permet à l'agriculteur de contrôler efficacement les adventices et comme nous l'avons montré, les rendements obtenus sont supérieurs à celui des densités plus basses. Mais ensuite, il convient d'éliminer les cacaoyers en surnombre pour obtenir une densité inférieure à 1 000 cacaoyers ha^{-1} et pour maintenir la productivité des cacaoyers. Cette densité peut apparaître inférieure aux densités habituellement recommandées par la recherche-développement mais il s'agit généralement de densités préconisées pour des systèmes de cacaoculture monospécifiques ou pour des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer simples.

Dans le cas présent, la densité des cacaoyers tient compte de la présence des peuplements associés dont la densité initiale, d'une centaine d'arbres ha⁻¹, sera également réduite au cours du temps rejoignant en cela les pratiques actuelles des agriculteurs.

Une dizaine d'espèces, forestières et fruitières, peuvent être associées aux cacaoyers afin de répondre à la fois aux besoins des agriculteurs (consommation, vente, bois, etc.) et contribuer à l'équilibre du système (ombrage, fertilité du sol). Le choix de ces espèces peut être réalisé parmi les espèces qui ont le plus d'intérêt pour les agriculteurs comme *Dacryodes edulis*, *Persea americana*, *Elaeis guineensis*, mais également *Milicia excelsa*, *Ficus mucoso*, *Ceiba pentandra*, etc. (chapitre 3).

Nos travaux montrent cependant que ces recommandations techniques doivent être nuancées selon les zones d'étude et selon les projets productifs des agriculteurs qui peuvent dans certains cas justifier, comme nous l'avons mis en évidence, une phase de gestion *a minima* de la cacaoyère. Avant de formuler une recommandation technique, il s'avère donc nécessaire de connaître l'objectif de la cacaoyère : est-ce la production ? Est-ce une valeur refuge ou un moyen d'occuper le terrain ?

4. Perspectives scientifiques

Notre travail sur les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer apporte de nombreux éléments de compréhension sur leur fonctionnement, leurs performances et leur dynamique. Ces travaux soulèvent cependant un certain nombre de questions de recherche portant notamment sur :

(i) L'évaluation des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer. Notre évaluation de ces systèmes a porté sur la caractérisation de leur structure et sur la valeur d'usage qu'attribuent les agriculteurs aux différentes espèces en présence. Une autre approche de ces systèmes pourrait être de caractériser leur structure à partir de groupes fonctionnels (Malézieux et al., 2009 ; Malézieux, 2009). La grande diversité spécifique des systèmes agroforestiers constitue en effet un obstacle à la compréhension de leur fonctionnement. Le regroupement d'espèces utilisant la même ressource et occupant la même niche écologique, ou présentant la même réponse, voire le même mécanisme de réponse, constituerait une démarche possible pour mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes complexes. Il s'agirait ainsi d'aborder et de tester la pertinence des concepts de groupes fonctionnels, que les écologues mobilisent pour l'évaluation des écosystèmes naturels, aux systèmes agroforestiers complexes à base de cacaoyer.

(ii) L'analyse satellitaire. Pour limiter la difficulté que représente l'analyse de la complexité de ces systèmes pour les évaluer, une voie pourrait être de caractériser leur structure en mobilisant des outils de télédétection et en recourant à des images satellite à très haute résolution spatiale. Ces outils offrent en effet de nouvelles perspectives non seulement pour caractériser les systèmes agroforestiers complexes à partir de certains indicateurs de structure (densité des peuplements, taux de couverture spatiale, porosité de l'ombrage, etc), mais également pour relier les caractéristiques de structure aux niveaux de rendement en cacao marchand des peuplements cacaoyers ou à la sensibilité aux bioagresseurs. Des travaux en ce sens seront entrepris prochainement dans la zone de transition forêt-savane de Bokito avec le démarrage d'une thèse.

(iii) Le fonctionnement biophysique du cacaoyer dans un système agroforestier. Une analyse intra-parcellaire des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer est nécessaire car, si nous avons mis en évidence les principales relations qui régissent le fonctionnement d'un peuplement agroforestier à base de cacaoyer, nos travaux apportent peu d'informations sur les relations de compétition/facilitation qui peuvent exister entre le peuplement cacaoyer et les autres espèces auxquelles il est associé. Par exemple, le rôle négatif des espèces forestières que nous avons mis en évidence notamment dans la zone forestière de Ngomedzap peut être lié à une compétition entre les différents peuplements pour la lumière (rôle de l'ombrage sur l'activité photosynthétique du cacaoyer). Mais il peut aussi s'agir d'une compétition pour les éléments minéraux, comme de phénomènes de liaisons racinaires (anastomoses). De tels phénomènes ont été mis en évidence dans des peuplements d'okoumé (Leroy-Deval, 1973). On peut imaginer que la structure des systèmes agroforestiers complexes favoriserait l'apparition de soudures au niveau racinaire, au détriment des cacaoyers qui constituent le peuplement « *dominé* », et au profit des arbres forestiers, peuplement « *dominant* », notamment dans les cacaoyères anciennes.

(iv) L'élaboration du rendement en cacao marchand. D'une part, nos travaux ont porté sur l'estimation du rendement potentiel en cacao marchand et d'autre part, ils ne prennent pas en compte la variabilité du poids des fèves fraîches en tant que composante du rendement. La pression parasitaire liée à la pourriture brune et par conséquent des pertes qui en découlent, et du poids des fèves fraîches par cabosse doivent être analysées à l'échelle de la plante afin de contribuer à l'analyse des déterminants de la productivité du cacaoyer : liaisons entre la productivité et les états environnementaux (sol, pression parasitaire, concurrences, ombrage, etc.) seront étudiées.

Ces éléments confirment, comme précédemment, la nécessité de réaliser une analyse intra-parcellaire des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer. Le principal écueil de ce type d'analyse est d'appréhender les interactions entre les peuplements cacaoyers et les peuplements associés. Ces interactions sont en effet multiples et varient en fonction notamment du degré d'hétérogénéité du système qui, en général, est très forte et par conséquent difficilement quantifiable. Ainsi, l'hétérogénéité intra-parcellaire des cacaoyères agroforestières entraîne, entre autres conséquences, un couvert des cacaoyères très irrégulier où coexistent des zones très ombragées, peu ventilées et très humides, et des zones au contraire très ouvertes, ensoleillées, et par conséquent beaucoup plus sèches. Cette hétérogénéité micro-climatique induit donc d'une part, une pression parasitaire liée aux mirides et à la pourriture brune des cabosses variable et d'autre part, des conditions de ressources en eau, éléments nutritifs, et lumière variables, ce qui multiplie les interactions interspécifiques : le rendement de chaque plante étant fortement dépendant de l'environnement climatique créé par les plantes voisines (Lamanda et al., 2006). De telles observations impliquent par conséquent un dispositif lourd et complexe qui doit être mis en place à l'échelle d'un cacaoyer ou d'une placette de petite taille.

(v) L'analyse des pratiques en lien avec le fonctionnement des exploitations agricoles. Nos travaux ont permis de préciser les principaux déterminants de l'évolution des pratiques mais nous n'avons pas abordé la place de la cacaoculture dans le fonctionnement des exploitations, en lien par exemple avec les cultures annuelles ou pluriannuelles destinées à la consommation des ménages ou à la vente. De plus, un agriculteur gère en général plusieurs cacaoyères qui se retrouvent donc en interaction, ce qui mériterait d'être analysé.

Etudier davantage le lien entre le fonctionnement de l'exploitation et la conduite technique des cacaoyères permettrait donc de mieux comprendre les pratiques en cacaoculture. Depuis les années 1990, on observe que les modalités de mise en place des cacaoyères recommandées par la Sodecao sont abandonnées par de nombreux agriculteurs qui reviennent au semis à la volée et mettent en place des cacaoyères dont la densité est parfois supérieure à 3 000 cacaoyers ha⁻¹. Il s'agirait ainsi d'étudier les règles de décision des agriculteurs pour la gestion de l'implantation puis de la conduite technique de leur cacaoyère et comprendre sur quoi reposent précisément leurs pratiques.

Conclusion

Conclusion

Au delà de la prise en compte de la diversité végétale présente dans les systèmes étudiés, l'une des originalités de ce travail réside principalement dans la prise en compte du temps long pour l'analyse des systèmes agroforestiers complexes à base de cacaoyer. La dynamique temporelle des systèmes agroforestiers est en effet rarement prise en compte lors de leur évaluation alors que cette approche apparaît indispensable pour comprendre le fonctionnement de ces systèmes, leurs évolutions et leurs déterminants, ainsi que les conditions de leur production en cacao marchand.

Notre travail permet aujourd'hui de proposer une méthodologie d'analyse des systèmes agroforestiers complexes qui repose sur la mobilisation de différents outils de l'agronomie que nous avons adaptés, et sur la combinaison de plusieurs approches. Nous avons pu ainsi évaluer ces systèmes en résolvant ou en contournant plusieurs difficultés liées à leurs spécificités. Ce travail constitue une nouvelle base pour l'élaboration plus approfondie d'outils d'évaluation des performances des systèmes agroforestiers complexes.

Nos résultats apportent un éclairage nouveau sur les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer dont le fonctionnement était jusqu'à présent peu étudié en raison de la faiblesse de leurs rendements en cacao marchand. Loin d'être des vestiges du passé, ces systèmes agroforestiers mis au point par les agriculteurs, apparaissent au contraire comme des systèmes dynamiques, en constante évolution, permettant la production durable de cacao marchand, à des niveaux de rendement généralement supérieurs à ce qui est communément admis et ce, sans fertilisation minérale. Pour installer et gérer leurs cacaoyères agroforestières, les agriculteurs mettent ainsi en œuvre différents types de pratiques et adaptent leur conduite en fonction des contraintes auxquelles ils sont confrontés. Les cacaoyères agroforestières anciennes sont en fait le résultat de trajectoires de conduite spécifiques, plus ou moins performantes en termes de rendement en cacao marchand.

L'ensemble des résultats et des connaissances produites dans ce travail permet de formuler des propositions pour la mise au point d'un nouveau modèle technique en cacaoculture, durable et davantage respectueux de l'environnement que le modèle actuel, afin de répondre aux enjeux auxquels sont confrontés les principaux pays producteurs de cacao.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Affou S.Y., 1997. Renforcement des organisations paysannes et progrès agricoles : obstacles ou atouts pour le progrès agricole. *In* : Le modèle ivoirien en questions. Crises, ajustements, recompositions. Contamin B., Memêl-Fotê H. (eds). Paris, France, Karthala/Orstom : 555-571.
- Aguilar P., Jadin P., 1997. La replantation des vieilles cacaoyères en Afrique. Fiche technique. *Afrique Agriculture*, 246, 2 p.
- Ahenkorah Y., Akrofi G.S., 1968. The status of an Amelonado shade and manurial experiment (K1) at Tafo. *In* : Actes de la 2^{ème} Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Bahia (Brésil), 19-25 novembre 1967. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance : 325-330.
- Ahenkorah Y., Akrofi G.S., Adri A.K., 1974. The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science* 40 : 43-51.
- Alvim P.T., 1977. « Cacao ». *In* : Ecophysiology of tropical crops. Alvim P.T., Koslowski T.T. (eds). New York, Etats Unis, Academic Press: 279-313.
- Ampofo S.T., 1986. Spacing/cultivar/pruning experiment. Report for the period 1982-1983-1984-1985. Tafo, Ghana, Cocoa Research Institute : 26-29.
- Anglaaere L.C.N., Cobbina J., Sinclair F.L., McDonald M.A., 2011. The effect of land use systems on tree diversity: farmer preference and species composition of cocoa-based agroecosystems in Ghana. *Agroforestry Systems* 81 : 249-265.
- Anonyme, 2001. Programme cacao et café Robusta. Ateliers de concertation avec les opérateurs économiques sur les politiques agricoles. Janvier 2001. Yaoundé, Cameroun, Ministère de l'Agriculture, 23 p.
- Anonyme, 2010. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. Cocoa year 2009/2010. Londres, Grande Bretagne, International Cocoa Organization, 36 (2), 40 p.
- Are L.A., Atanda O., 1972. Seasonal influences on some yield factors in four varieties of *Theobroma cacao* L.. *Tropical Agriculture* 49 : 161-170.
- Asare A., Tetteh D.A., 2010. The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry Systems* 79 : 355-368.
- Asomaning E.J.A., Kwakwa R.S., Hutcheon W.V., 1971. Physiological studies on an Amazon shade and fertiliser trial at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science* 4 : 47-64.

- Assoumou J., 1977. L'économie du cacao. Agriculture d'exportation et bataille du développement. Paris, France, Jean-Pierre Delarge, 351 p.
- Aubry C., Capillon A., Servettaz L., 1989. Diversité des systèmes de production du Noyonnais et leur sensibilité au milieu. *In* : Fertilité et systèmes de production. Sebillotte M. (ed). Versailles, Inra, collection Ecologie et Développement Rural : 102-131.
- Aubry C., Latiri-Souki K., Doré T., Griner C., 1994. Diagnostic des facteurs limitants du rendement du blé dur en parcelles d'agriculteurs dans une petite région semi-aride en Tunisie. *Agronomie* 14 : 213-227.
- Aubry C., 1995. Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grande culture dans la région picarde. Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 271 p. + annexes.
- Aubry C., Papy F., Capillon A., 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems* 56: 45-65.
- Aubry C., Michel-Dounias I., 2006. Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole. *In* : L'agronomie aujourd'hui. Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (eds). Versailles, France, Quae : 57-75.
- Babin R., 2009. Contribution à l'amélioration de la lutte contre le miride du cacaoyer *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera : Miridae). Influence des facteurs agro-écologiques sur la dynamique des populations du ravageur. Thèse de doctorat, Université Montpellier III-Paul Valéry, Montpellier, France, 202 p.
- Bastide P., Paulin D., Lachenaud P., 2008. Influence de la mortalité des cacaoyers sur la stabilité de la production dans une plantation industrielle. *Tropicultura* 26 : 33-38.
- Bene J.G., Beall H.W., Côté A., 1977. Trees, Food and People: Land Management in the Tropics. Ottawa, Canada, IDRC-084e, 52 p.
- Besse J., 1972. Comparaison de deux méthodes d'établissement de cacaoyères. *Café Cacao Thé* 16 : 317-331.
- Bidzanga Nomo L., 2005. Farmers' ecological and agronomic knowledge about The management of multistrata cocoa systems in Southern Cameroon. PhD thesis, University of Wales, Bangor, Grande Bretagne, 258 p.
- Binet J., 1956. Budgets familiaux des planteurs de cacao au Cameroun. Paris, France, Orstom, *L'Homme d'Outre-Mer*, n° 3, 154 p.
- Bisseleua D.H., Vidal B.S., 2008. Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different management. *Biodiversity and Conservation* 17 : 1821-1835.

- Blaha G., Lotodé R., 1976. Un critère primordial de sélection de cacaoyers au Cameroun : la résistance à la pourriture brune des cabosses. Variation des réactions à la maladie en liaison avec les données écologiques et l'état physiologiques des fruits. *Café Cacao Thé* 20 : 97-116.
- Blanc-Pamard C., Peltre P., 1984. Dynamique des paysages préforestiers et pratiques culturelles en Afrique de l'Ouest, Côte d'Ivoire. *In* : Le développement rural en question. Paris, France, Orstom, Mémoire 106 : 55-67.
- Boiffin J., Caneill J., Meynard J.M., Sebillotte M., 1981. Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. I. Protocole et méthode d'étude d'un problème technique régional. *Agronomie* 1 : 549-558.
- Bonaparte E.E., 1966. Pruning studies on Amazon and Amelonado cocoa in Ghana. *Tropical Agriculture* 43 : 25-34.
- Bos M.M., Steffan-Dewenter I., Tschardt T., 2006. Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 120 : 201-205.
- Braudeau J., 1969. Le cacaoyer. Collection Techniques agricoles et productions tropicales. Paris, France, Maisonneuve et Larose, 304 p.
- Brookfield H.P.C., 1994. « Agrodiversity ». *Environment* 36 : 7-11.
- Brun L.A., Sounigo O., Coulibaly N., Cilas C., 1997. Methods of analysis for studying cocoa (*Theobroma cacao* L.) susceptibility to mirids. *Euphytica* 94 : 349-359.
- Burle L., 1961. Le cacaoyer. Tome premier. Paris, France, Larose, 316 p.
- Burle L., 1962. Le cacaoyer. Tome deuxième. Paris, France, Larose, 675 p.
- Capillon A., Sebillotte M., 1980. Etude des systèmes de production des exploitations agricoles. Une typologie. *In* : Servant J., Pinchinat A. (eds). Caribbean Seminar on Farming Systems Research methodology (Pointe à Pitre, 4-8 mai 1980). Versailles, France, Inra : 85-111.
- Capillon A., 1985. Connaître la diversité des exploitations : un préalable à la recherche de références techniques régionales. *Agriscopes* 6 : 31-40.
- Capillon A., 1993. Typologies des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 48 p. et 301 p.
- Champaud J., 1966. L'économie cacaoyère du Cameroun. *Cahiers Orstom, série Sciences humaines* 3 : 105-124.

- Chia E., Marchenay M., 2008. Un regard des sciences de gestion sur la flexibilité : enjeux et perspectives. *In* : L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores. Dedieu B., Chia E., Leclerc B., Moulin C.H., Tichit M. (eds). Versailles, France, Quae : 23-26.
- Clay J., 2004. World agriculture and the environment. Washington, Etats-Unis, Island Press, 570 p.
- Cleaver K., 1992. Deforestation in the western and central African rainforest: the agricultural and demographic causes, and some solutions. *In* : Conservation of west and central African rainforests. Cleaver K., Munasinghe M., Dyson M., Egli N., Penker A., Wencelius F. (eds). Washington, Etats-Unis, The World Bank/International Union for the Conservation of Nature : 65-78.
- Collingwood C.A., 1977. African mirids. *In* : Les mirides du cacaoyer. Lavabre E.M. (ed). Paris, France, Maisonneuve et Larose : 237-255.
- Coquil X., Dedieu B., Béguin P., 2010. How do livestock and crop sciences represent evolutions of farming systems? A review. *In* : Actes du 9^{ème} symposium européen de l'Ifsa. 4-7 juillet 2010, Vienne (Autriche) : 1255-1266.
- Cyrlunick B., 2001. Les vilains petits canards. Paris, France, Odile Jacob, 288 p.
- Darnhofer I., Bellon S., Dedieu B., Milestad R., 2010. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30 : 545-555.
- Dawoe E.K., Isaac M., Quashie-Sam J., 2010. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. *Plant Soil* 330 : 55-64.
- Dedieu B., Ingrand S., 2010. Incertitude et adaptation : cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage. *Inra Productions Animales* 23 : 81-90.
- Degrande A., Schreckenberg K., Mboosso C., Anegbeh P., Okafor V., Kanmegne J., 2006. Farmers' fruit tree-growing strategies in the humid forest zone of Cameroon and Nigeria, *Agroforestry Systems* 67 : 159-175.
- Delpech B., 1978. Du village au quartier : les originaires de la Lékié à Yaoundé (Nkol-Eton). Yaoundé, Cameroun, Onarest, Travaux et documents de l'Ish, n° 10, 220 p.
- Dixon J., Gulliver A., Gibbon D., 2001. Farming Systems and Poverty. Improving farmers livelihoods in a changing world. Rome, Italie, Fao, 413 p.
- Donald P.F., 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18 : 17-37.

- Doré T., Sebillotte M., Meynard J.M., 1997. A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems* 54 : 169-188.
- Doré T., Clermont-Dauphin C., Crozat Y., David C., Jeuffroy M.H., Loyce C., Makowski D., Malézieux E., Meynard J.M., Valantin-Morison M., 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28 : 151-161.
- Dounias E., Hladik C.M., 1996. Les agroforêts Mvae et Yassa du Cameroun Littoral : fonctions socioculturelles, structure et composition floristique. In : Hladik C.M., Hladik A., Pagezy H., Linares O.F., Koppert G.J.A. et Froment A. (eds). L'alimentation en forêt tropicale : interactions bioculturelles et perspectives de développement. Paris, France, Editions Unesco : 1103-1126.
- Dounias E., 1996. Recrûs forestiers post-agricoles : perceptions et usages chez les Mvae du sud Cameroun forestier. *Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée* 38 : 153-178.
- Dounias I., 1998. Modèle d'action et organisation du travail pour la culture cotonnière : cas des exploitations agricoles du bassin de la Bénoué au nord-Cameroun. Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 208 p. + annexes.
- Dupont de Dinechin B., 1963. Régénération des cacaoyères en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 7 : 87-106.
- Duguma B., Gockowski J., Bakala J., 2001. Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems* 51 : 177-188.
- Edwards D.F., 1972. Seasonal variations in pod and bean characters. Annual report 1971-1972. Tafo, Ghana, Cocoa Research Institute : 172-174.
- Egbe N.E., Adenikinju S.A., 1990. Effect of intercropping on potential yield of cacao in South Western Nigeria. *Café Cacao Thé* 34 : 281-284.
- Enriquez G.A., 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, Costa-Rica, Catie, Série Materiales de Enseñanza, n° 22, 239 p.
- Eyog Matig O., Ndoye O., Kengue J., Awano A., 2006. Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun. Cotonou, Bénin, Ipgri/Saforgen/Irad/Cifor, 204 p.
- Fairhead J., Leach M., 1996. Misreading the African landscape: society and ecology in a forest-savanna mosaic (African studies). Cambridge, Grande Bretagne, University Press, 354 p.
- Fernandes E.C.M., Nair P.K.R., 1986. An evaluation of the structure and Function of Tropical Homegardens. *Agricultural Systems* 21 : 279-310.

- Franzen M., Borgerhoff Mulder M., 2007. Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide. *Biodiversity and Conservation* 16 :3835-3849.
- Garrity D.P., 2004. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry Systems* 61 : 5-17.
- Gasajeni J., Gasajeni N., 1999. Ecological rationalities of the traditional homegarden system in the Chao Phraya Basin, Thailand. *Agroforestry Systems* 46 : 3-23.
- Gerritsma W., Wessel M., 1996. Calculated yield trends of cocoa in different countries. In : Proceedings MICC'94. Kuala Lumpur (Malaysia), 20-21 Octobre 1994 : 210-226.
- Glendinning D.R., 1960. The relationship between growth and yield in cocoa varieties. *Euphytica* 9 : 351-355.
- Glendinning D.R., 1966. Further observations on the relationship between growth and yield in cocoa varieties. *Euphytica* 15 : 11-127.
- Gockowski J., Sonwa D., 2010. Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO² emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea rain forest of West Africa. *Environmental Management* online : Doi 10.1007/s00267-010-9602-3
- Griffon M., 1999. Développement durable et agriculture : la révolution doublement verte. *Cahiers Agricultures* 8 : 259-267.
- Grimaldi J., 1979. Petit guide du vulgarisateur agricole en culture cacaoyère. Fiches techniques cacao. Yaoundé, Cameroun, Sodecao, 185 p.
- Guelly K.A., Roussel B., Guyot M., 1993. Installation d'un couvert forestier dans les jachères de savane au Sud-Ouest Togo. *Bois et Forêt des Tropiques* 235 : 37-48.
- Hanak Freud E., Petithuguenin P., Richard J., 2000. Les champs du cacao. Un défi de compétitivité Afrique-Asie. Paris, France, Karthala, 210 p.
- Harwich N., 1992. Histoire du chocolat. Paris, France, Desjonquères, 292 p.
- Hutcheon W.V., 1981. Physiological studies on cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Ghana. PhD thesis, University of Aberdeen, Grande Bretagne, 599 p.
- Huxley P.A., 1999. Tropical Agroforestry. Londres, Grande Bretagne, Blackwell Science, 371 p.
- Ingrand S., Astigarraga L., Chia E., David C., Coquil X., Fiorelli J.L., 2009. Développer les propriétés de flexibilité des systèmes de production en situation d'incertitude pour une durabilité qui dure. In : Actes des 3^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, 17-18 novembre 2009. Le Mans, France : 80-88.

- Jadin P., 1992. L'agronomie du cacaoyer à l'Ircc. Montpellier, France, Ircc/Cirad, Etudes et Travaux de l'Ircc, 44 p.
- Janin P., 1999. L'avenir des planteurs camerounais. Paris, France, Karthala, 246 p.
- Jouve P., 1992. Le diagnostic en milieu rural, de la région à la parcelle. Approche systémique des modes d'exploitations agricoles du milieu. Montpellier, France, Collection Etudes et Travaux du Cnearc, n° 6, 40 p.
- Juhrbandt J., Duwe T., Barkmann J., Gerold G., Marggraf R., 2010. Structure and management of cocoa agroforestry systems in Central Sulawesi across an intensification gradient. *In* : Tropical rainforests and agroforests under global change. Ecological and socio-economic valuations. Tschardt T., Leuschner C., Veldkamp E., Faust H., Guhardja E., Bidin A. (eds). Dordrecht, Pays-Bas, Springer : 115-140.
- Kamdem C., 2010. Analyse du prix au producteur et efficience commerciale des organisations paysannes du cacao au Cameroun. Thèse de doctorat, Université de Yaoundé II, Faculté des Sciences économiques et de gestion, Yaoundé, Cameroun, 219 p.
- Knapp L.A.W., 1920. Cocoa and chocolate. Their history from plantation to consumer. Chapman and Hall, Londres, 207 p.
- Krebs C.J., 1985. Species diversity. *In* : Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Krebs C.J. (ed). New York, Etats-Unis, Harper and Row : 507-534.
- Kumar B.M., Suman J.G., Chinnamani S., 1994. Diversity, structure and standing stock of wood in the homegardens of Kerala in peninsular India. *Agroforestry Systems* 25 : 243-262.
- Kumar B.M., Nair P.K.R., 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61 : 135-162.
- Lachenaud P., 1983. Problèmes posés par l'ombrage du cacaoyer. Evolution des techniques culturelles traditionnelles. *In* : Institut de recherches du café et du cacao. 25^{ème} anniversaire 1958-1982. Paris, France, Ircc-Cirad : 79-80.
- Lachenaud P., 1984. Une méthode d'évaluation de la production de fèves fraîches applicable aux essais entièrement randomisés. *Café Cacao Thé* 28 : 21-30.
- Lachenaud P., Mossu G., 1985. Etude comparative de l'influence de deux modes de conduite sur les facteurs du rendement d'une cacaoyère. *Café Cacao Thé* 29 : 21-30.
- Lachenaud P., 1991a. Facteurs de la fructification chez le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Influence sur le nombre de graines par fruit. Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 188 p.
- Lachenaud P., 1991b. Effet de quelques variables saisonnières sur la relation entre poids de cabosse et poids de fèves fraîches chez le cacaoyer. Bilan d'observations en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* 35 : 113-120.

- Lachenaud P., Oliver G., 1998. Influence d'éclaircies sur les rendements de cacaoyers. *Plantation Recherche Développement* 5 : 34-40.
- Lachenaud P., Montagnon C., 2002. Competition effects in cocoa (*Theobroma cacao* L.) hybrids trials. *Euphytica* 128 : 97-104.
- Lachenaud P., 2005. Densité évolutive en cacaoculture : la nécessité des éclaircies. In : Actes de la 14^{ème} Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Accra (Ghana), 13-18 octobre 2003. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance : 309-315.
- Laird S.A., Awung G.L., Lysinge R.J., 2007. Cocoa farms in the Mount Cameroon region: biological and cultural diversity in local livelihoods. *Biodiversity and Conservation* 16 : 2401-2427.
- Lamanda N., Malézieux E., Martin P., 2005. Organisation spatiale et dynamique des systèmes de culture à base de cocotiers (*Cocos nucifera* L.) dans une île mélanésienne. *Cahiers Agricultures* 13 : 459-66.
- Lamanda N., 2004. Caractérisation et évaluation agro-écologique des systèmes de culture agroforestiers : une démarche appliquée aux systèmes de culture à base de cocotiers (*Cocos nucifera* L.) sur l'île de Malo. Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 200 p.
- Lamanda N., Malézieux E., Martin P., 2006. Structure and dynamics of coconut based agroforestry systems in Melanesia : a case-study from the Vanuatu archipelago. In : Advances in Agroforestry. Tropical homegardens, a time-tested example of sustainable agroforestry. Kumar B.M., Nair P.K.R. (eds). Dordrecht, Pays-Bas, Springer : 105-120.
- Landais E., 1987. Recherche sur les systèmes d'élevage. Questions et perspectives. Document de travail de L'Ursad, Versailles-Dijon-Mirecourt. Versailles, France, Inra Sad, 74 p.
- Landais E., Deffontaines J.P., 1990. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. In : Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation. Brossier J., Vissac B., Le Moigne J.L. (eds). Versailles, France, Inra : 29-64.
- Lanfranchi J., 1971. Régénération cacaoyère. In : Actes de la 3^{ème} Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Accra (Ghana), 23-29 novembre 1969. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance : 49-55.
- Laporte B., 1992. Les réformes des systèmes de commercialisation et de stabilisation des filières café et cacao au Cameroun et en Côte d'Ivoire. Paris, France, Ministère de la Coopération, 174 p.
- Laryea A.A., 1971. Cocoa rehabilitation in Ghana. In : Actes de la 3^{ème} Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Accra (Ghana), 23-29 novembre 1969. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance : 37-48.

- Lavabre E.M., 1970. Insectes nuisibles des cultures tropicales. Paris, France, Maisonneuve et Larose, 276 p.
- Leakey R., 1996. « Definition of agroforestry revisited ». *Agroforestry Systems* 8 : 5-7.
- Leakey R., 1998. Agroforestry in the humid lowlands of West Africa: some reflections on future directions for research. *Agroforestry Systems* 40 : 253-262.
- Leplaideur A., 1985. Les systèmes agricoles en zone forestière : les paysans du Centre et du Sud Cameroun. Paris, France, Cirad-Irat, 615 p.
- Leroy-Deval J., 1973. Les liaisons et anastomoses racinaires. *Bois et Forêts des Tropiques* 152 : 37-49.
- Leterme P., Manichon H., Roger-Estrade J., 1994. Analyse intégrée des rendements de blé tendre et de leurs causes de variation dans un réseau de parcelles d'agriculteurs du Thymerais. *Agronomie* 14 : 341-361.
- Losch B., Fusillier J.L., Dupraz P., 1991. Stratégies des producteurs en zone caféière et cacaoyère du Cameroun. Quelles adaptations à la crise ? Montpellier, France, Cirad-Dsa, collection Documents Systèmes Agraires, n° 12, 252 p.
- Losch B., Daviron B., Freud C., Gergely N., 1992. Relance régionalisée de la production paysanne de café et de cacao au Cameroun. Etude de faisabilité. Phase 1 : Cadrage général de la relance. Montpellier, France, Cirad/Sofreco, 119 p.
- Lotodé R., Lachenaud P., 1988. Méthodologie destinée aux essais de sélection du cacaoyer. *Café Cacao Thé* 32 : 275-292.
- Loyce C., Wery J., 2006. Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. In : L'agronomie aujourd'hui. Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (eds). Versailles, France, Quae : 77-95.
- MacLeod M.J., 1973. Spanish Central America, a Socioeconomic History, 1520-1720. Austin, Etats-Unis, Université du Texas, 554 p.
- Maldérieux S., Dedieu B., Dobremez L., 2002. Modifications de l'utilisation du territoire lorsque les éleveurs cherchent à résoudre leurs problèmes de travail. *Fourrages* 172 : 355-368.
- Malézieux R., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems : concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29 : 43-62.

- Malézieux E., 2009. De l'écophysiologie à l'agroécologie, contribution aux recherches sur les systèmes de culture. Mémoire présenté en vue d'obtenir l'habilitation à diriger des recherches. Université de Montpellier II, Montpellier, France, Tome 1, 124 p.
- Marchesnay M., 2004. Note introductive : les flexibilités de l'entreprise. Séminaire Transformations des pratiques des éleveurs et flexibilité des systèmes d'élevage. Montpellier, France, 15-16 mars 2004.
- Martin P., 2009. De la trajectoire d'états des écosystèmes cultivés aux espaces territorialisés dynamiques : contribution à la prise en compte de la dimension temporelle dans une agronomie des territoires. Mémoire présenté en vue d'obtenir l'habilitation à diriger des recherches. Institut national polytechnique, Toulouse, France, Tome 1, 113 p.
- Mead R., Willey R.W., 1980. The concept of a "Land Equivalent Ratio" and advantages in yields from intercropping. *Experimental agriculture* 16 : 217-228.
- Méndez V.E., Lok R., Somarriba E., 2001. Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: micro-zonation, plant use and socio-economic importance. *Agroforestry Systems* 51 : 85-96.
- Metral R., Wery J., 2001. Evaluation of limiting factors of food legumes yields in farmer's field: development of a diagnosis methodology and first results in three french regions. In : 4th European Conference on Grain Legumes, July 8-12th 2001, Cracovie. Paris, France, Aep : 48-49.
- Meynard J.M., Sebillotte M., 1983. Diagnostic sur les causes de variation du rendement du blé dans une petite région. In : La fatigue des sols. Paris, France, Inra, collection Les colloques, n° 17 : 157-168.
- Meynard J.M., David G., 1992. Diagnostic de l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures* 1 : 9-19.
- Meynard J.M., Doré T., Habib R., 2001. Evaluation and conception of cropping systems for a sustainable agriculture. *Académie d'agriculture de France* 87 : 223-236.
- Michel M., 1970. Les plantations allemandes du mont Cameroun, 1885-1914. *Revue française d'Histoire d'Outre-Mer* 207 : 183-213.
- Michels T., 2005. Adapter la conduite des plantations d'hévéa à la diversité des exploitations villageoises (Etude de cas au Cameroun). Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 245 p.
- Michon G., Bompard J., Hecketsweiler P., Ducatillion C., 1983. Tropical forest architectural analysis as applied to agroforests in the humid tropics: The example of traditional village-agroforests in West-Java. *Agroforestry Systems* 1 : 117-129.

- Michon G., de Foresta H., Levang P., 1995. Stratégies agroforestières paysannes et développement durable : les agroforêts à damar de Sumatra. *Nature, Sciences, Sociétés* 3 : 207-221.
- Michon G., de Foresta H., 1997. Agroforests: pre-domestication of forest trees or true domestication of forest ecosystems? *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45 : 451-462.
- Michon G., de Foresta H., 1999. Agroforests: incorporating a forest vision in agroforestry. In : Buck L.E., Lassoie J., Fernandes E.C.M. (eds). *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Washington, Etats-Unis, CRC Press : 381-406.
- Mignon S., 2001. Stratégie de pérennité d'entreprise. Paris, France, Vuibert, 232 p.
- Millat-E-Mustapha M.D., Hall J.B., Teklehaimanot Z., 1996. Structure and floristic of Bangladesh homegardens. *Agroforestry Systems* 33 : 263-280.
- Milleville P., 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. *Cahiers Orstom, série Biologie* 17 : 23-37.
- Milleville P., 1987. Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Les Cahiers de la Recherche-Développement* 16 : 3-7.
- Montgomery P.J., 1981. Some thoughts on the life span of cocoa. *Planter* 57 : 604-609.
- Mooleedhar V., Lauckner F.B., 1990. Effect of spacing on yield in improved clones of *Theobroma cacao* L.. *Tropical Agriculture* (Trinidad) 67 : 376-378.
- Moulin C.H., Ingrand S., Lasseur J., Maldérieux S., Napoléone M., Pluvinaud J., Thénard V., 2008. Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations : propositions méthodologiques. In : L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores. Dedieu B., Chia E., Leclerc B., Moulin C.H., Tichit M. (eds). Versailles, France, Quae : 181-196.
- Muller R.A., 1962. La lutte anticapsides. Yaoundé, Cameroun, Bulletin de la Chambre d'Agriculture, 32 p.
- Nair P.K.R., 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Pays-Bas, Kluwer Academic Publishers, 499 p.
- Ndoumbe-Nkeng M., 2002. Incidence des facteurs agro-écologiques sur l'épidémiologie de la pourriture brune des fruits du cacaoyer au Cameroun : contribution à la mise en place d'un modèle d'avertissements agricoles. Thèse de Doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France, 151 p.

- Nesme T., Lescourret F., Bellon S., Plénet D., Habib R., 2003. Relevance of orchard design issuing from growers' planting choices to study fruit tree cropping systems. *Agronomy* 23 : 651-660.
- Nyassé S., 1997. Etude de la diversité de *Phytophthora megakarya* et caractérisation de la résistance du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) à cet agent pathogène. Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique, Toulouse, France, 133 p.
- Oke D.O., Odebiyi K.A., 2007. Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122 : 305-311.
- Oladokun M.A.O., Egbe N.E., 1990. Yields of cocoa/kola intercrops in Nigeria. *Agroforestry Systems* 10 : 153-160.
- Papy F., Aubry C., Mousset J., 1990. Eléments pour le choix des équipements et des chantiers d'implantation des cultures en liaison avec l'organisation du travail. In : La structure du sol et son évolution. Boiffin J., Marin-Laflèche A. (eds). Paris, France, Inra, collection Les colloques de l'Inra, 53 : 157-185.
- Papy F., 1996. Le management de la production agricole. In : Actes du Symposium international « Recherches-système en agriculture et développement rural ». Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. Montpellier, France, Cirad-Sar : 301-314.
- Penot E., 2001. Stratégies paysannes et évolution des savoirs : l'hévéaculture agro-forestière indonésienne. Thèse de doctorat, Université de Montpellier I, Montpellier, France, 364 p. et 171 p.
- Perrot C., Landais E., 1993. Exploitations agricoles : Pourquoi poursuivre la recherche sur les méthodes typologiques ? *Les Cahiers de la Recherche Développement* 33 : 13-17.
- Petithuguenin P., 1995. Regeneration of cocoa cropping systems: the Ivorian and Togolese experience. In: Cocoa cycles: the economics of cocoa supply. Ruf F., Siswoputranto P.S. (eds.). Londres, Grande Bretagne, Woodhead Publishing : 89-107.
- Piart J., 1977. Plantes-hôtes et préférences alimentaires chez les mirides du cacaoyer. In : Les mirides du cacaoyer. Lavabre E.M. (ed). Paris, France, Maisonneuve et Larose : 213-221.
- Poncin L., 1958. La pratique de l'ombrage à Lukolela Plantations. In : Proceedings of Cocoa Conference, 13-15 sept. 1957. Londres, Grande Bretagne, International Cocoa Organization : 289-296.
- Rafflegeau S., 2008. Dynamique d'implantation et conduite technique des plantations villageoises de palmier à huile au Cameroun : facteurs limitants et raisons des pratiques. Thèse de doctorat, AgroParisTech, Paris, France, 147 p.

- Rafflegeau S., Michel-Dounias I., Tailleux B., Ndigui B., Papy F., 2009. Unexpected N and K nutrition diagnosis in oil palm smallholdings using references of high-yielding industrial plantations. *Agronomy for Sustainable Development* 30 : 777-787.
- Rao M.R., Muraya P., Ong C.K., 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38 : 3-50.
- Rapidel B., Roupsard O., Navarro M., 2009. Modelling Agroforestry Systems. Workshop Proceedings. Catie, Costa-Rica, 25-29 February 2008. Catie, Turrialba, Costa-Rica, Technical Meetings, n° 14, 332 p.
- Rice R.A., Greenberg R., 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29: 167-173.
- Ruf F., 1987. Eléments pour une théorie des agricultures tropicales humides. De la forêt, rente différentielle, au cacaoyer, capital travail. *L'agronomie tropicale* 42 : 218-233.
- Ruf F., 1995. Booms et crises du cacao. Les vertiges de l'or brun. Paris, France, Karthala, 459 p.
- Ruf F., Schroth G., 1995. Chocolate Forests and Monocultures : A Historical Review of Cocoa Growing and Its Conflicting Role in Tropical Deforestation and Forest Conservation. In : *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Schroth G., Da Fonseca G.A.B., Harvey C.A., Gascon C., Vasconcelos H.L., Izac A.M.N. (eds). Washington, Etats-Unis, Island Press : 107-133.
- Salgado-Mora M.G., Ibarra-Núñez G., Macías-Sámano J.E., López-Báez O., 2007. Diversidad arbórea en cacaotales des Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32 : 763-768.
- Santoir C., 1992. Sous l'empire du cacao. Etude diachronique de deux terroirs camerounais. Paris, France, Orstom, 191 p.
- Santoir C., Bopda A., 1995. Atlas régional Sud-Cameroun. Paris, France, Orstom, 53 p.
- Schroth G., Harvey C., 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity and Conservation* 16 : 2237-2244.
- Scopel E., Louette D., 1992. Une méthode de diagnostic agronomique basée sur l'enquête : application au maïs pluvial à Pueblo-Juarez, Mexique. *L'agronomie tropicale* 46 : 283-294.
- Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers Orstom, série Biologie* 24 : 3-25.
- Sebillotte M., 1975. Comment aborder et suivre l'introduction dans un système de culture de nouveaux procédés de travail du sol ? *Bulletin Technique d'Information* 302-303 : 555-567.

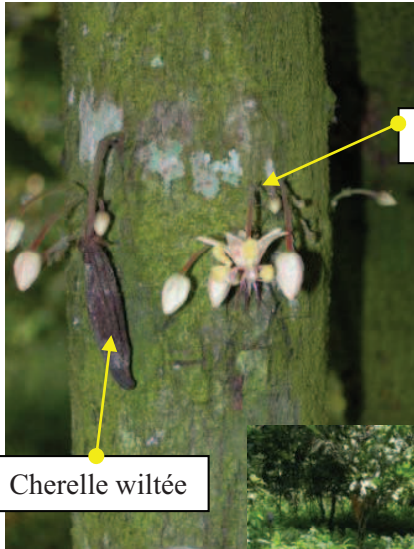
- Sebillotte M., 1978. Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France* 11 : 906-913.
- Sebillotte M., 1979. Analyse du fonctionnement des exploitations agricoles. Trajectoires et typologies. Note introductive pour la réunion SAD du 20 novembre 1979 à Toulouse : 20-30.
- Sebillotte M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. *In* : Les systèmes de culture. Combe L., Picard D. (eds). Paris, France, Inra : 165-196.
- Sebillotte M., Soler L.G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs. Première partie. Acquis et questions vives. *In* : Modélisation systémique et système agraires. Brossier J., Vissac B., Le Moigne J.L. (eds). Paris, France, Inra : 93-117.
- Sheil D., Puri R.K., Basuki I., Van Heist M., Wan M., Liswanti N., Rukmiyati, Sardjono M.A., Samsoedin I., Sidiyasa K., Chrisandini, Permana E., Angi E.M., Gatzweiler F., Johnson B., Wijaya A., 2004. A la découverte de la biodiversité, de l'environnement et des perspectives des populations locales dans les paysages forestiers. Méthodes pour une étude pluridisciplinaire du paysage. Jakarta, Indonésie, Cifor, 97 p.
- Sonwa D.J., Nkongmeneck A.B., Weise S.F., Tchatat M., Adesina A.A., Janssens M.J., 2007. Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodiversity and Conservation* 16 : 2385-2400.
- Sounigo O., Coulibaly N., Brun L., N'Goran J., Cilas C., Eskes A.B., 2003. Evaluation of resistance of *Theobroma cacao* L. to mirids in Côte d'Ivoire: results of comparative progeny trials. *Crop protection* 22 : 615-621.
- Snoeck D., Abolo D., Jagoret P., 2010. Temporal changes in VAM fungi in the cocoa agroforestry systems of central Cameroon. *Agroforestry Systems* 78 : 323-328.
- Tahi G.M., Ngoran J.A.K., Sounigo O., Eskès A.B., 2003. Mise au point d'une méthode d'évaluation simplifiée de la productivité du cacaoyer en Côte d'Ivoire. *In* : Actes de la 14^{ème} Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère, Accra (Ghana), 13-18 octobre 2003. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance : 67-74.
- Tarondeau J.C., 1999. La flexibilité dans les entreprises. Paris, France, Presses universitaires de France, collection Que Sais-je ? 126 p.
- Thomas G., Balasimha D., 1992. Canopy architecture, photosynthesis and yield of cocoa trees. *Café Cacao Thé* 36 : 103-108.
- Tilman D., Cassman K., Matson P., Naylor R., Polasky S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418 : 671-677.
- Tixier P., 2004. Conception assistée par modèle de systèmes de culture durables : application aux systèmes bananiers de Guadeloupe. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure d'agronomie, Montpellier, France, 223 p.

- Torquebiau E.F., 1992. Are Tropical Agroforestry Homegardens sustainable ? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 41 : 189-207.
- Torquebiau E.F., 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes rendus de l'Académie des sciences, série III, Sciences de la vie* 323 : 1009-1017.
- Torquebiau E.F., 2002. Les associations agroforestières et leurs multiples enjeux. *Bois et Forêts des Tropiques* 271 : 23-34.
- Torquebiau E.F., 2007. L'agroforesterie. Des arbres et des champs. Paris, France, L'harmattan, 151 p.
- Toxopeus H., Wessel M., 1970. Studies on pod and bean values of *Theobroma cacao* L. in Nigeria. 1 : Environmental effects on west african Amelonado with particular attention to annual rainfall distribution. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 18 : 132-139.
- Touzard J.M., 1993. L'économie coloniale du cacao en Amérique centrale. Montpellier, France, Cirad, collection Repères, 95 p.
- Trivedi R.K., 1992. A case study of cocoa replanting and new planting in Bahia, Brazil. *Journal of Development Economics* 39 : 279-299.
- Vandermeer J., 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge, Grande Bretagne, Cambridge University Press, 237 p.
- Vandermeer J., Van Noordwijk M., Anderson J., Ong C., Perfecto I., 1998. Global change and multi-species ecosystems : concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 67 : 1-22.
- Varlet F., Berry D., 1997. Réhabilitation de la protection phytosanitaire des cacaoyers et caféiers du Cameroun. Cirad/Conseil interprofessionnel du cacao et du café (Cicc). Douala, Cameroun, Conseil interprofessionnel du cacao et du café, 204 p. + 202 p.
- Varlet F., 2000. Institutions publiques et croissance agricole au Cameroun. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure d'agronomie, Montpellier, France, 467 p. + 320 p.
- Vivien J., Faure J.J., 1985. Arbres des forêts denses d'Afrique centrale. Paris, France, Agence de coopération culturelle et technique, 565 p.
- Weber J., 1977. Structures agraires et évolution des milieux ruraux. Le cas de la région cacaoyère du Centre-Sud Cameroun. *Cahiers Orstom, série Sciences humaines* 2 : 113-139.

- Walkley A., Black L.A., 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37 : 29-38.
- Wilks C., Issembé Y., 2000. Guide pratique d'identification. Les arbres de la Guinée équatoriale. Région continentale. Malabo, Guinée équatoriale, Ministère des Forêts, de la Pêche et de l'Environnement, projet Curef, 546 p.
- Willson K.C., 1999. Coffee, cocoa and tea. Wallingford, Grande Bretagne, Cabi, 300 p.
- Wood G.A.R., Lass R.A., 1985. Cocoa. Fourth edition. Londres, Grande Bretagne, Longman, Tropical Agriculture Series, 620 p.
- Zapfack L., Engwald S., Sonke B., Achoundong G., Birang A.M., 2002. The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. *Biodiversity and Conservation* 2 : 2047-2061.
- Zuidema P.A., Leffelaar P.A., Gerritsma W., Mommer L., Anten N.P.R., 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems* 84 : 195-225.

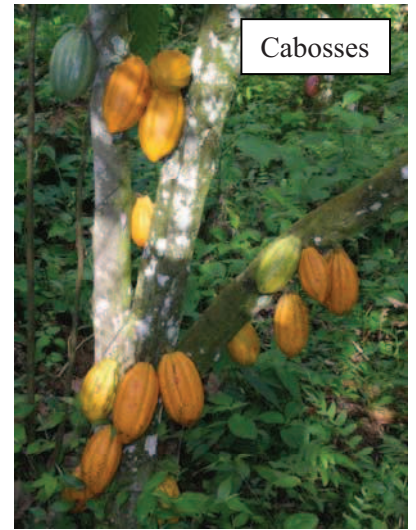
Annexes

Planche photos 1 : Le cacaoyer : de la fleur à la fève



Cherelle wiltée

Coussinet floral



Cabosses



Récolte



Fèves fraîches



Ecabossage



Mise en fermentation des fèves fraîches



Séchage



Cacao marchand

Planche photos 2

Rejets orthotropes
d'âge différent



Modalités de réhabilitation des peuplements cacaoyers

Cacaoyers recépés



Trace du tronc d'origine



Peuplement cacaoyer redensifié

Principaux ravageurs du cacaoyer au Cameroun



Cabosses atteintes
de pourriture brune
(*Phytophthora megakarya*)



Mirides : espèce *Sahlbergella singularis*

Dessèchement du feuillage



Chancres sur branches

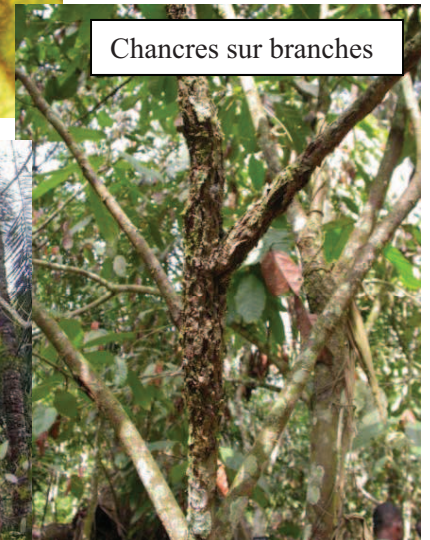


Planche photos 3 : Sur le terrain ... la collecte des données



Observations agronomiques
sur cacaoyers

Evaluation de la pression
parasitaire liée aux mirides



Inventaires floristiques



Estimation de la valeur
d'usage des espèces

Enquêtes sur l'histoire culturelle des cacaoyères



Entretien sur l'évolution du modèle
technique en cacaoculture



Comptage des cabosses

Planche photos 4 :
Quelques espèces des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et leur usage



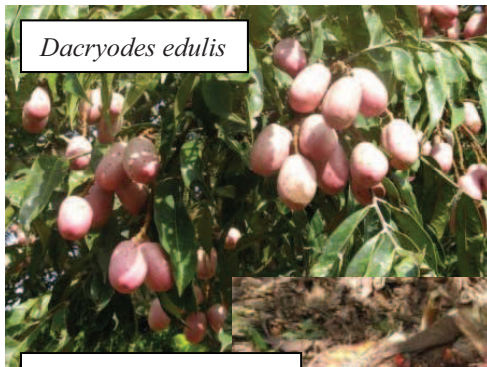
Triplochyton scleroxylon

Fourniture de bois d'œuvre



Morinda lucida

Usage médicinal



Dacryodes edulis

Production de fruits

Petersianthus macrocarpus



Plante hôte d'*Imbrasia ertli*.



Elaeis guineensis



Production de noix et de vin de palme



Cola nitida

Rôle social



Ceiba pentandra

Ombrage et maintien de la fertilité du sol



Ficus mucoso

Planche photos 5 : La dynamique cacaoyère en zone de transition forêt-savane

